

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Shiho NAKAMURA, et al.

GAU:

SERIAL NO: 10/721,549

EXAMINER:

FILED: November 26, 2003

MAGNETIC CELL AND MAGNETIC MEMORY

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS  
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e): Application No. Date Filed
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

COUNTRY  
JAPAN

APPLICATION NUMBER  
2002-342447

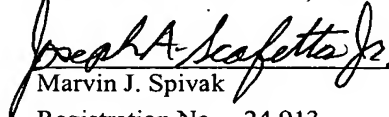
MONTH/DAY/YEAR  
November 26, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)  
☐ are submitted herewith  
☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

  
Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

Joseph A. Scafetta, Jr.  
Registration No. 26, 803

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000  
Fax. (703) 413-2220  
(OSMMN 05/03)

13936630 USAAT  
10/721,549

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 2 年 1 1 月 2 6 日  
Date of Application:

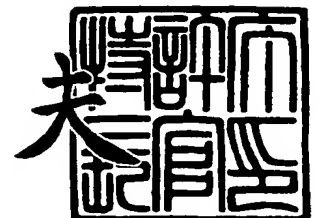
出 願 番 号            特 願 2 0 0 2 - 3 4 2 4 4 7  
Application Number:  
[ST. 10/C] :            [ J P 2 0 0 2 - 3 4 2 4 4 7 ]

出      願      人            株式会社東芝  
Applicant(s):

2 0 0 3 年    7 月 3 0 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 0 6 0 5 8 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 PTS0229

【提出日】 平成14年11月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G11B 5/39  
H01L 43/08

【発明の名称】 磁気セル及び磁気メモリ

【請求項の数】 15

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝  
研究開発センター内

【氏名】 中村 志保

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝  
研究開発センター内

【氏名】 羽根田 茂

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝  
研究開発センター内

【氏名】 大沢 裕一

【特許出願人】

【識別番号】 000003078

【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

【識別番号】 100088487

【弁理士】

【氏名又は名称】 松山 允之

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100108062

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 日向寺 雅彦

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 087469

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気セル及び磁気メモリ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁化が第 1 の方向に実質的に固定された第 1 の強磁性層と、  
磁化が前記第 1 の方向とは反対の第 2 の方向に実質的に固定された第 2 の強磁性層と、

前記第 1 の強磁性層と前記第 2 の強磁性層との間に設けられ、磁化の方向が可変の第 3 の強磁性層と、

前記第 1 の強磁性層と前記第 3 の強磁性層との間に設けられた第 1 の中間層と

前記第 2 の強磁性層と前記第 3 の強磁性層との間に設けられた第 2 の中間層と

を備え、

前記第 1 及び第 2 の強磁性層の間で電流を流すことによりスピン偏極した電子を前記第 3 の強磁性層に作用させて前記第 3 の強磁性層の磁化の方向を前記電流の向きに応じた方向に決定可能としたことを特徴とする磁気セル。

【請求項 2】

前記第 1 の強磁性層から前記第 3 の強磁性層を介して前記第 2 の強磁性層に向けて電子電流を流した場合には、前記第 3 の強磁性層の磁化の方向は前記第 1 の方向とされ、

前記第 2 の強磁性層から前記第 3 の強磁性層を介して前記第 1 の強磁性層に向けて電子電流を流した場合には、前記第 3 の強磁性層の磁化の方向は前記第 2 の方向とされることを特徴とする請求項 1 記載の磁気セル。

【請求項 3】

前記第 1 の中間層の膜厚と前記第 2 の中間層の膜厚とが互いに異なることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の磁気セル。

【請求項 4】

前記第 1 の中間層の電気抵抗と前記第 2 の中間層の電気抵抗とが互いに異なる

ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の磁気セル。

**【請求項 5】**

前記第 1 及び第 2 の中間層のいずれか一方は、中間物質層を含むことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の磁気セル。

**【請求項 6】**

前記第 1 及び第 2 の中間層のいずれか一方は、ピンホールを有する絶縁体からなり、前記ピンホールは、前記絶縁体の両側に隣接する前記強磁性層の材料によって充填されてなることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の磁気セル。

**【請求項 7】**

前記第 1 及び第 2 の強磁性層は、膜厚及び材料の少なくともいずれかが異なることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の磁気セル。

**【請求項 8】**

前記第 1 及び第 2 の強磁性層は、静磁結合してなることを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 つに記載の磁気セル。

**【請求項 9】**

前記第 1 及び第 2 の強磁性層の少なくともいずれかは、隣接して設けられた反強磁性層によりその磁化方向が固定されてなることを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 つに記載の磁気セル。

**【請求項 10】**

前記第 1 及び第 2 の強磁性層の少なくともいずれかに隣接して非磁性層と第 4 の強磁性層と反強磁性層とがこの順に積層され、

前記非磁性層の両側に隣接する前記強磁性層の磁化の方向は、同一の方向に固定されてなることを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 つに記載の磁気セル。

**【請求項 11】**

前記第 1 及び第 2 の強磁性層の少なくともいずれかに隣接して非磁性層と第 4 の強磁性層と反強磁性層とがこの順に積層され、

前記非磁性層の両側に隣接する前記強磁性層の磁化の方向は、反対の方向に固定されてなることを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 つに記載の磁気セル。

**【請求項 12】**

前記第 2 の強磁性層に隣接して設けられた第 3 の中間層と、

前記第 3 の中間層に隣接して設けられ、磁化の方向が可変の第 4 の強磁性層と

前記第 4 の強磁性層に隣接して設けられた第 4 の中間層と、

前記第 4 の中間層に隣接して設けられ、磁化の方向が実質的に前記第 1 の方向に固定された第 5 の強磁性層と、

をさらに備えたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の磁気セル。

#### 【請求項 1 3】

請求項 1 ～ 1 2 のいずれか 1 つに記載の複数の磁気セルを絶縁体を間に介しつつマトリクス状に設けたメモリセルを備えたことを特徴とする磁気メモリ。

#### 【請求項 1 4】

前記メモリセル上の前記磁気セルのそれぞれに対して、プローブによりアクセス可能としたことを特徴とする請求項 1 3 記載の磁気メモリ。

#### 【請求項 1 5】

前記メモリセル上の前記磁気セルのそれぞれにワード線とビット線とが接続され、

前記ワード線とビット線とを選択することにより、特定の磁気セルに対して情報の記録または読み出しを可能とした請求項 1 3 記載の磁気メモリ。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0 0 0 1】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、磁気セル及び磁気メモリに関し、特にスピン偏極した電子を流すことにより書き込みが可能な磁気セル及び磁気メモリに関する。

##### 【0 0 0 2】

#### 【従来の技術】

磁性体の磁化方向を制御するためには、従来、磁界を印加する方法が採られてきた。例えば、ハードディスクドライブ (hard disk drive) においては、記録ヘッドから発生する磁場により、媒体の磁化方向を反転させ、書き込みを行なっている。また、固体磁気メモリでは、磁気抵抗効果素子の近傍に設けられた配線

に電流を流すことで生じる電流磁界をセルに印加することで、セルの磁化方向制御を行なう。これらの外部磁場による磁化方向制御は古い歴史をもち、確立された技術といえる。

#### 【0003】

一方、昨今のナノテクノロジーの進歩により、磁性材料も急激に微細化し、磁化制御もナノスケールで局所的に行なう必要が出てきた。しかしながら、磁場は根本的に空間に広がる性質を有するので、局所化が難しい。ビットやセルのサイズが微小化するにつれ、特定のビットやセルを選択してその磁化方向を制御させる場合に、隣のビットやセルにまで磁場が及んでしまう「クロストーク」の問題が顕著となる。また、磁場を局所化させるために磁場発生源を小さくすると、十分な発生磁場が得られないという問題が生じる。

#### 【0004】

最近、磁性体に電流を流すことにより磁化反転を起こす「電流直接駆動型磁化反転」が見出された（例えば、非特許文献1参照）。

#### 【0005】

##### 【非特許文献1】

F. J. Albert, et al., Appl. Phys. Lett., 77, 3809 (2000)

#### 【0006】

電流による磁化の反転は、スピン偏極した電流が磁性層を通過する際に発生するスピン偏極電子の角運動量が、磁化反転させたい磁性体の角運動量に伝達・作用することで磁化の反転を起こす現象である。この現象を用いれば、ナノスケールの磁性体に対して、より直接的に作用させることが可能であり、より微小な磁性体に対する記録が可能になる。

#### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、現在のところ、磁化を反転させるための反転電流は、セルのサイズが100ナノメートルから数10ナノメートル程度の場合でも、10mA～数mAと極めて大きいという問題がある。つまり、電流による素子破壊を防止し、発熱を防止し、さらに低消費電力化のためには、できるだけ小さな電流で磁化反転するような磁気セル構造が望まれる。



## 【0007】

本発明は、かかる課題の認識に基づいてなされたものであり、その目的は、電流直接駆動による磁化反転の際の反転電流を低減させることができる磁気セル及びそれを用いた磁気メモリを提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明の第1の磁気セルは、磁化が第1の方向に実質的に固定された第1の強磁性層と、磁化が前記第1の方向とは反対の第2の方向に実質的に固定された第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層との間に設けられ、磁化の方向が可変の第3の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第3の強磁性層との間に設けられた第1の中間層と、前記第2の強磁性層と前記第3の強磁性層との間に設けられた第2の中間層と、を備え、

前記第1及び第2の強磁性層の間で電流を流すことによりスピン偏極した電子を前記第3の強磁性層に作用させて前記第3の強磁性層の磁化の方向を前記電流の向きに応じた方向に決定可能としたことを特徴とする。

## 【0008】

第1及び第2の強磁性層すなわち2つの磁性固着層の磁化を反平行としたことにより、第3の強磁性層すなわち磁性記録層へ働くスピン方向は最終的に同一方向となり、2倍の作用が働く。その結果として、磁性記録層の磁化の反転のための電流を低減することが可能となる。

ここで、前記第1の強磁性層から前記第3の強磁性層を介して前記第2の強磁性層に向けて電子電流を流した場合には、前記第3の強磁性層の磁化の方向は前記第1の方向とされ、前記第2の強磁性層から前記第3の強磁性層を介して前記第1の強磁性層に向けて電子電流を流した場合には、前記第3の強磁性層の磁化の方向は前記第2の方向とされるものとすることができる。

## 【0009】

また、前記第1の中間層の膜厚と前記第2の中間層の膜厚とが互いに異なるものとすれば、磁気抵抗効果を利用した第3の強磁性層の磁化の読み出しを容易にできる。

## 【0010】

また、前記第1の中間層の電気抵抗と前記第2の中間層の電気抵抗とが互いに異なるものとしても、磁気抵抗効果を利用した第2の強磁性層の磁化の読み出しを容易にできる。

【0011】

また、前記第1及び第2の中間層のいずれか一方は、中間物質層を含むものとしても、磁気抵抗効果を利用した第3の強磁性層の磁化の読み出しを容易にできる。

【0012】

また、前記第1及び第2の中間層のいずれか一方は、ピンホールを有する絶縁体からなり、前記ピンホールは、前記絶縁体の両側に隣接する前記強磁性層の材料によって充填されてなるものとしても、磁気抵抗効果を利用した第3の強磁性層の磁化の読み出しを容易にできる。

【0013】

また、前記第1及び第2の強磁性層は、膜厚及び材料の少なくともいずれかが異なるものとしても、磁気抵抗効果を利用した第3の強磁性層の磁化の読み出しを容易にできる。

【0014】

また、前記第1及び第2の強磁性層は、静磁結合してなるものとすれば、これらの反平行の磁化を容易に実現できる。

【0015】

また、前記第1及び第2の強磁性層の少なくともいずれかは、隣接して設けられた反強磁性層によりその磁化方向が固定されてなるものとしてもよい。

【0016】

また、前記第1及び第2の強磁性層の少なくともいずれかに隣接して非磁性層と第4の強磁性層と反強磁性層とがこの順に積層され、前記非磁性層の両側に隣接する前記強磁性層の磁化の方向は、同一の方向に固定されてなるものとしてもよい。

【0017】

または、前記第1及び第2の強磁性層の少なくともいずれかに隣接して非磁性

層と第4の強磁性層と反強磁性層とがこの順に積層され、

前記非磁性層の両側に隣接する前記強磁性層の磁化の方向は、反対の方向に固定されてなるものとしてもよい。

#### 【0018】

また、前記第2の強磁性層に隣接して設けられた第3の中間層と、前記第3の中間層に隣接して設けられ、磁化の方向が可変の第4の強磁性層と、前記第4の強磁性層に隣接して設けられた第4の中間層と、前記第4の中間層に隣接して設けられ、磁化の方向が実質的に前記第1の方向に固定された第5の強磁性層と、をさらに備えたものとしてもよい。

#### 【0019】

一方、本発明の磁気メモリは、上記のいずれかの複数の磁気セルを絶縁体を間に介しつつマトリクス状に設けたメモリセルを備えたことを特徴とする。

#### 【0020】

ここで、前記メモリセル上の前記磁気セルのそれぞれに対して、プローブによりアクセス可能とすることができる。

#### 【0021】

また、前記メモリセル上の前記磁気セルのそれぞれにワード線とビット線とが接続され、前記ワード線とビット線とを選択することにより、特定の磁気セルに対して情報の記録または読み出しを可能とすることもできる。

#### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しつつ本発明の実施の形態について説明する。

#### 【0022】

図1は、本発明の第1の実施の形態にかかる磁気セルの基本的な断面構造を例示する模式図である。この磁気セルは、磁化 $M_1$ 、 $M_2$ の向きが互いに反平行な2つの磁性固着層（ピン層） $C_1$ 、 $C_2$ と、磁化方向が可変なひとつの磁性記録層（フリー層） $A$ 、そして磁性記録層 $A$ と磁性固着層の間に中間層 $B_1$ 、 $B_2$ を有する。

#### 【0023】

電流 $I$ を上下の固着層 $C_1$ 、 $C_2$ 間に流すことによって、磁性記録層 $A$ の磁化

Mの方向を制御することができる。具体的には、電流 I の流れる向き（極性）を変えることで磁性記録層 A の磁化 M の向きを反転させることができる。情報を記録させる場合には、磁化 M の方向に応じて、「0」と「1」とをそれぞれ割り当てればよい。

#### 【0024】

また、本発明の磁気セルにおいては、各層の磁化方向は、面内方向に限定されず、膜面に対して略垂直な方向であってもよい。

#### 【0025】

図2は、磁化が膜面に対して垂直な方向に制御された磁気セルの断面構造を表す模式図である。この磁気セルの場合、磁化 M、M1、M2 は、膜面に対して略垂直な方向に制御されている。このようにしても、電流 I を上下の固着層 C1、C2 間に流すことによって、磁性記録層 A の磁化 M の方向を制御することができる。

#### 【0026】

次に、本発明の磁気セルにおける「書き込み」のメカニズムについて説明する。

#### 【0027】

図3は、図1に表した磁気セルにおける「書き込み」のメカニズムを説明するための模式断面図である。2つの磁性固着層 C1、C2 を設け、これらの界面を横切るように電流 I を流して、磁性記録層 A に対する書き込みを行うメカニズムは、次のとおりに説明される。

#### 【0028】

まず、図3(a)において、磁化 M1 を有する第1の磁性固着層 C1 を通過した電子は、磁化 M1 の方向のスピンのもつようになり、これが磁性記録層 A へ流れると、このスピンのもつ角運動量が磁性記録層 A へ伝達され、磁化 M に作用する。一方、第2の磁性固着層 C2 の磁化 M2 は、磁化 M1 とは逆向きである。このため、電子の流れが第2の磁性固着層 C2 へ入る界面においては、磁化 M1 と同方向のスピン（同図において右向き）を有する電子は反射され、第2の磁性固着層 C2 に接した中間層 B2 に溜まる。この逆向きスピンは、やはり磁性記録層

Aに作用する。すなわち、第1の磁性固着層を通過してきたスピン電子が、磁性記録層Aに対して2回作用するため、実質的に2倍の書き込み作用が得られる。その結果として、磁性記録層Aに対する書き込みを従来よりも小さい電流で実施できる。

#### 【0029】

また、図3(b)は、電流Iを反転させた場合を表す。この場合には、電流Iを構成する電子は、まず、第2の磁性固着層C2の磁化M2の作用を受けて、この方向(同図において左向き)のスピンを有する。このスピン電子は、磁性記録層Aにおいてその磁化Mに作用する。さらに、スピン電子は、それとは逆向きの磁化M1を有する第1の磁性固着層C1との界面において反射されて、中間層B2に溜まり、もう一度磁性記録層Aの磁化Mに作用する。

#### 【0030】

以上説明したように、本実施形態によれば、2つの磁性固着層の磁化M1、M2を反平行としたことにより、磁性記録層Aへ働くスピン方向は最終的に同一方向となり、2倍の作用が働く。その結果として、磁性記録層Aの磁化の反転のための電流を低減することが可能となる。

#### 【0031】

以上説明した「書き込み」のメカニズムは、図2に表したように磁化が膜面に対して垂直な方向に制御された磁気セルにおいても同様である。

#### 【0032】

図4は、図2に表した磁気セルにおける「書き込み」のメカニズムを説明するための模式断面図である。同図については、図1乃至図3に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

#### 【0033】

図4に表したように、磁化方向が垂直とされた場合にも、2つの磁性固着層の磁化M1、M2を反平行としたことにより、磁性記録層Aへ働くスピン方向は最終的に同一方向となり、2倍の作用が働く。その結果として、磁性記録層Aの磁化の反転のための電流を低減することが可能となる。

#### 【0034】

次に、本実施形態の磁気セルにおける「読み出し」の方法について説明する。本実施形態の磁気セルにおいて、磁性記録層 A の磁化 M の方向の検出は、各層の磁化の相対的な向きにより電気抵抗が変わる「磁気抵抗効果」を利用して行うことができる。

#### 【0035】

図 5 は、本実施形態の磁気セルの読み出し方法を説明するための概念図である。すなわち、磁気抵抗効果を利用する場合、磁性固着層 C 1、C 2 のいずれかと磁性記録層との間でセンス電流 I を流し、磁気抵抗を測定すればよい。図 5 においては、第 1 の磁性固着層 C 1 と磁性記録層 A との間で磁気抵抗を測定する場合を例示したが、これとは逆に、第 2 の磁性固着層 C 2 と磁性記録層 A との間で磁気抵抗を測定してもよい。

#### 【0036】

図 6 は、磁化の相対的な向きによる磁気抵抗の変化を説明するための概念図である。すなわち、同図 (a) に表したように、磁性固着層 C 1 の磁化 M 1 と、磁性記録層 A の磁化 M とが同一の方向の場合、これらにセンス電流 I を流して検出される磁気抵抗は、相対的に小さな値となる。

#### 【0037】

一方、図 6 (b) に表したように、磁性固着層 C 1 の磁化 M 1 と、磁性記録層 A の磁化 M とが反平行の場合、これらにセンス電流 I を流して検出される磁気抵抗は、相対的に大きな値となる。これら抵抗が互いに異なる状態に、それぞれ「0」と「1」を対応づけることにより、2 値データの記録読み出しが可能となる。

#### 【0038】

一方、磁気セルの両端を介してセンス電流を流すことにより磁気抵抗を検出する方法もある。すなわち、第 1 の磁性固着層 C 1 と第 2 の磁性固着層 C 2 との間でセンス電流を流すことにより磁気抵抗を検出する。しかし、本発明においては、一対の磁性固着層 C 1、C 2 の磁化 M 1、M 2 は、反平行である。このため、「対称構造」すなわち磁性固着層 C 1、C 2 のスピン依存散乱の大きさが同一であると、あるいは、磁性固着層 C 1、C 2 から磁性記録層に作用する電子のスピン

ン偏極度が同一であると、磁性記録層 A の磁化 M がどちらの方向にある場合も、検出される磁気抵抗は、同一になってしまう。そこで、「非対称構造」を採用する必要がある。

#### 【0039】

図 7 は、非対称構造の第 1 の具体例を表す模式断面図である。

#### 【0040】

非対称構造の一例として、磁性固着層 C 1、C 2 の厚みや材料などを互いに異ならせることにより、磁化 M 1、M 2 の大きさを変えることができる。図 7 に表した具体例の場合、第 2 の磁性固着層 C 2 を第 1 の磁性固着層 C 1 よりも厚く形成することにより、磁性固着層 C 2 によるスピン依存バルク散乱の寄与を C 1 のそれよりも大きくする。このようにすれば、磁性固着層 C 1、C 2 を介してセンス電流を流して「読み出し」を行う場合に、磁性記録層 A の磁化 M の方向に応じて、検出される磁気抵抗が異なる。

#### 【0041】

但し、図 7 に表したように第 1 及び第 2 の磁性固着層 C 1、C 2 の厚みを変える代わりに、それらの材料を変えることにより、磁性固着層 C 1、C 2 によるスピン依存散乱の大きさを変えてもよい。

#### 【0042】

図 8 は、非対称構造の第 2 の具体例を表す模式断面図である。

#### 【0043】

すなわち、本具体例の場合、中間層 B 1、B 2 の厚みが異なる。つまり、中間層 B 1 は磁気抵抗効果が検出されやすい厚さにし、もう一方の中間層 B 2 は磁気抵抗効果が検出されにくい厚さにする。この場合、中間層 B 1 の厚みの範囲としては 0.2 nm から 10 nm の範囲、中間層 B 2 の厚みの範囲としては 3 nm から 50 nm の範囲とするとよい。

#### 【0044】

このようにすれば、中間層 B 1 を挟んだ磁性固着層 C 1 と磁性記録層 A との間の磁気抵抗効果を主に検出することができ、磁性記録層 A の磁化 M を検出することが容易となる。

## 【0045】

また、中間層 B1、B2 の電気抵抗を異なるものとしてもよい。このためには中間層 B1、B2 の材料や組成を互いに異なるものとしたり、いずれか一方の中間層に添加元素を加えるなどの方法が有効である。

## 【0046】

図9は、非対称構造の第3の具体例を表す模式断面図である。

## 【0047】

すなわち、本具体例の場合、中間層 B2 に中間物質層 IE が挿入されている。この中間物質層 IE は、磁気抵抗効果の増大を起こすためのものである。中間物質層 IE としては、例えば、不連続な絶縁性の薄膜を挙げることができる。すなわち、ピンホールなどを有する絶縁性の薄膜を中間層に挿入することにより、磁気抵抗効果を増大させることが可能となる。

## 【0048】

このような不連続な絶縁性の薄膜としては、例えば、ニッケル (Ni) と銅 (Cu) の合金の酸化物または窒化物、ニッケル (Ni) と金 (Au) の合金の酸化物または窒化物、アルミニウム (Al) と銅 (Cu) の合金の酸化物または窒化物などを挙げることができる。

## 【0049】

これら合金の酸化物や窒化物などの化合物は、加熱等によって平衡状態へ近づけることで相分離し、Au や Cu 等の化合物化 (酸化や窒化など) されにくく従って低電気抵抗の相と、Ni や Al 等の酸化等がされやすく電気抵抗が高い化合物相とに分離する。このため、組成および温度あるいは印加エネルギーを制御することにより、ピンホールが存在する不連続な絶縁性薄膜を形成することができる。このように非磁性体が充填されたピンホールを形成すると、電流が流れる経路を狭窄することができ、スピン依存界面散乱とバルク散乱の寄与を制御することができ、大きな磁気抵抗効果が得られる。

## 【0050】

このような中間物質層 IE を中間層 B1、B2 のいずれかに挿入することにより、その両側の磁性固着層と磁性記録層との間の磁気抵抗効果が増大されて検出



が容易となる。

#### 【0051】

図10は、非対称構造の第4の具体例を表す模式断面図である。

#### 【0052】

すなわち、本具体例の場合、中間層B2は、ピンホールPHを有する絶縁層とされている。ピンホールPHは、その両側の磁性固着層および磁性中間層の材料により埋め込まれている。

#### 【0053】

このように、磁性固着層C2（またはC1）と磁性記録層AとがピンホールPHを介して接続されていると、いわゆる「磁性ポイントコンタクト」が形成され、極めて大きい磁気抵抗効果が得られる。従って、このピンホールPHを介した両側の磁性層の間での磁気抵抗効果を検出することにより、磁性記録層Aの磁化Mの方向を容易に判定することができる。

#### 【0054】

ここで、ピンホールPHの開口径は、概ね20nm以下であることが望ましい。また、ピンホールPHの形状は、円錐状、円柱状、球状、多角錐状、多角柱状などの各種の形状を取りうる。また、ピンホールPHの数は、1個でも複数でもよい。但し、少ない方が望ましい。

#### 【0055】

以上、図7乃至図10を参照しつつ、磁気抵抗効果により記録層Aの磁化の方向を容易に読み出すための非対称構造の具体例について説明した。これらの非対称構造は、図2に表した垂直磁化型の磁気セルについても同様に適用して同様の作用が得られる。

#### 【0056】

次に、本発明の磁気セルにおいて、2つの磁性固着層C1、C2の磁化M1、M2の方向を互いに反平行にする方法について説明する。

#### 【0057】

まず、第1の方法として、固着層C1、C2を静磁結合させることにより、磁化M1、M2を反平行にする方法を挙げることができる。

## 【0058】

図11は、固着層C1、C2の静磁結合を表す模式断面図である。すなわち、本具体例の場合、磁気セルの両側面に絶縁層ILを介して磁気ヨークMYが設けられている。磁気ヨークMYには、その内部に矢印で表したような磁界が形成され、これら磁気ヨークMYと固着層C1、C2を介した環流磁界が形成されている。このように、磁気ヨークMYを介して固着層C1、C2を静磁結合させると、環流磁界により、磁化M1と磁化M2とを反平行にすることができる。

## 【0059】

この場合、固着層の磁化M1、M2の方向をあらかじめ設定するためには、2つの固着層C1、C2の厚さを異なるようにして、外部からパルス磁場をかけるなどして磁化M1、M2の方向を制御することができる。

## 【0060】

また、一方の固着層の外側に接して反強磁性層を形成して一方向異方性を付与することで固着層の磁化方向は制御可能となる。

## 【0061】

図12は、反強磁性層を設けた磁気セルを表す模式断面図である。すなわち、固着層C2の下に反強磁性層AFが設けられ、固着層C2と磁性結合させることにより、磁化M2の方向が固定されている。そして、磁気ヨークMYを介してこの固着層C2と静磁結合している固着層C1の磁化M1は、磁化M2とは逆方向となる。

## 【0062】

また、固着層C1、C2の磁化をそれぞれ反強磁性層により固着してもよい。

## 【0063】

図13は、固着層C1、C2の磁化をそれぞれ反強磁性層により固着した磁気セルを表す模式断面図である。すなわち、固着層C1に隣接して反強磁性層AF1が設けられ、固着層C2に隣接して反強磁性層AF2が設けられている。そして、それぞれの固着層の磁化M1、M2は、隣接する反強磁性層AF1、AF2によって反平行に固着されている。

## 【0064】

このような構造は、反強磁性層 AF 1、AF 2 のブロッキング温度が異なるように、それらの材料を適宜選択することにより容易に形成できる。すなわち、図 13 に表した積層構造を形成した後に、磁場を印加しつつ加熱する。しかる後に、冷却すると、まず、ブロッキング温度の高い反強磁性層において、磁化が固着される。その後、磁場を反転させてさらに冷却すると、ブロッキング温度が低い反強磁性層において磁化が固着され、反平行の磁化が得られる。

#### 【0065】

図 14 も、固着層 C 1、C 2 の磁化をそれぞれ反強磁性層により固着した磁気セルを表す模式図である。すなわち、本具体例の場合、固着層 C 2 の外側には反強磁性層 AF 2 が設けられ、もう一方の固着層 C 1 の外側には非磁性層 AC を介して磁性層 FM と反強磁性層 AF 1 が設けられている。

#### 【0066】

この場合、非磁性層 AC は、磁性固着層 C 1 と磁性層 FM が反強磁性層間交換結合するような厚さとしておく。また、非磁性層 AC の材料としては、ルテニウム (Ru) や銅 (Cu) などを用いることができる。

#### 【0067】

通常の磁場中熱処理による一方向異方性の付与プロセスによれば、2 つの反強磁性層 AF 1、AF 2 と接したそれぞれの磁性層 FM、C 2 は、磁化の方向が同じ向きとなる。固着層 C 1 は、磁性層 FM と反強磁性結合しているため、その磁化 M 1 は、反対の方向を向き、その結果として、磁化 M 1 と磁化 M 2 とを反平行に固着することができる。

#### 【0068】

なお、この構造の場合、記録層 A への書き込みの電流 I は、同図に矢印 I 1 (またはこれと反対方向) で表したように、固着層 C 1、C 2 の間で流すことが望ましい。しかしながら、使用上の観点に立てば、図 14 の反強磁性層 AF 1、AF 2 のそれぞれ上部と下部に設けられた図示しない電極を用いて、同図の矢印 I 2 (またはこれと反対方向) で表したように、反強磁性層 AF 1、AF 2 の間に書き込み電流を流すほうが容易であり、このように流しても記録層 A に書き込むことができる。

## 【0069】

図15は、固着層C1、C2の磁化を反強磁性層により固着した磁気セルのもうひとつの具体例を表す模式断面図である。

## 【0070】

すなわち、本具体例の場合、磁性固着層C1、C2の外側に非磁性層AC、FCを介して磁性層FM1、FM2と反強磁性層AF1、AF2が設けられている。非磁性層ACは、その両側の磁性層の間で反強磁性層間交換結合が生ずるように調節されている。一方、非磁性層FCは、その両側の磁性層の間で強磁性層間結合が生ずるように調節されている。

## 【0071】

一般に、非磁性層を介した層間交換相互作用は、図16に模式的に表したように非磁性層の膜厚に対して正負に振動する。従って、図16において符号が異なる2つのピーク位置に対応するように、非磁性層AC、FCの膜厚を設定すればよい。例えば、図16における $t_1$ を非磁性層ACの膜厚とし、 $t_2$ を非磁性層FCの膜厚とすればよい。

## 【0072】

このような構造にすれば、反強磁性層AF1、AF2による一方向異方性の付与により、これらに接したそれぞれの磁性層FM1、FM2の磁化配置を同じ向きとし、最終的に磁性固着層C1、C2の磁化方向を反平行に固着できる。

## 【0073】

以上、本発明の磁気セルにおいて、固着層C1、C2の磁化M1、M2を反平行に固着する方法について説明した。

## 【0074】

さて、本発明は、磁性記録層Aが1層のみでなく、複数の場合にも適応できる。

## 【0075】

図17は、2層の磁性記録層を設けた磁気セルを表す模式断面図である。すなわち、この磁気セルにおいては、磁性固着層C1、中間層B1、磁性記録層A1、中間層B2、磁性固着層C2、中間層B3、磁性記録層A2、中間層B4、磁

性固着層 C 3 がこの順に積層されている。すなわち、固着層 C 2 を共有するようにして、その上下にそれぞれ図 1 に例示した磁気セルが直列に形成された構造を有する。このように、2 層の記録層 A 1、A 2 を直列に積層すると、再生出力信号を増大させることができる。

#### 【0076】

また、図 17 において、2 つの磁性記録層 A 1、A 2 の厚みや材料を変えてこれら磁性記録層 A 1、A 2 の磁化反転電流が異なるようにすれば、多値記録が可能となる。また、3 層以上の磁性記録層を直列に積層することにより、さらにデータ種類の多い多値記録も可能となる。なお、固着磁性層 C 2 の磁化固着は、C 2 層内部に反強磁性層を挿入して一方向異方性を付与すれば、より効果的である。

#### 【0077】

以上説明したように、本発明においては、小さな電流で磁性記録層の磁化制御が可能となり、さらにはその読み出しも可能となる。このため、後に詳述するように、本発明の磁気セルを複数個並べることによって、消費電力が小さく信頼性が高いプローブ・ストレージや固体メモリなどの磁気メモリを実現できる。

#### 【0078】

次に、本発明の磁気セルを構成する各要素について詳述する。

#### 【0079】

まず、磁性固着層 C 1、C 2 と、磁性記録層 A の材料としては、鉄 (Fe)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、または、鉄 (Fe)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、マンガン (Mn) 及びクロム (Cr) よりなる群から選択された少なくともいずれかの元素を含む合金、「パーマロイ」と呼ばれる NiFe 系合金、あるいは CoNbZr 系合金、FeTaC 系合金、CoTaZr 系合金、FeAlSi 系合金、FeB 系合金、CoFeB 系合金などの軟磁性材料、ホイスラー合金、磁性半導体、CrO<sub>2</sub>、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>、La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> などのハーフメタル磁性体酸化物 (あるいはハーフメタル磁性体窒化物) のいずれかを用いることができる。

#### 【0080】

ここで「磁性半導体」としては、鉄 (Fe)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、クロム (Cr)、マンガン (Mn) の少なくともいずれかの磁性元素と、化合物半導体または酸化物半導体とからなるものを用いることができ、具体的には、例えば、(Ga, Cr)N、(Ga, Mn)N、MnAs、CrAs、(Ga, Cr)As、ZnO:Fe、(Mg, Fe)Oなどを挙げることができる。

#### 【0081】

本発明においては、磁性固着層 C1、C2、磁性記録層 A の材料として、これらのうちから用途に応じた磁気特性を有するものを適宜選択して用いればよい。

#### 【0082】

また、これら磁性層に用いる材料としては、連続的な磁性体でもよく、あるいは非磁性マトリクス中に磁性体からなる微粒子が析出あるいは形成されてなる複合体構造を用いることもできる。このような複合体構造としては、例えば、「グラニューラー磁性体」などと称されるものを挙げることができる。

#### 【0083】

またさらに、磁性記録層 A の材料として、[(CoあるいはCoFe合金) / (NiFeあるいはNiFeCoからなるパーマロイ合金あるいはNi)] からなる2層構造、あるいは [(CoあるいはCoFe合金) / (NiFeあるいはNiFeCoからなるパーマロイ合金あるいはNi)] / (CoあるいはCoFe合金) からなる3層構造の積層体を用いることもできる。これらの多層構造からなる磁性層の場合、外側のCoあるいはCoFe合金の厚さは0.2 nmから1 nmの範囲であることが好ましい。この構造によれば、より小さな電流で磁化反転を得ることができる。

#### 【0084】

一方、中間層 B1、B2 の材料としては、銅 (Cu)、金 (Au)、銀 (Ag)、ルテニウム (Ru) あるいはこれらのいずれか一種以上を含む合金をはじめとし、アルミニウム (Al)、チタン (Ti)、タンタル (Ta)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、シリコン (Si) 及び鉄 (Fe) よりなる群から選択された少なくともいずれかの元素を含む酸化物あるいは窒化物、フッ化物から

なる絶縁体を用いることができる。導電層の場合には、酸素等の異種元素が添加されていてもよい。また、異種元素が不連続な高電気抵抗薄膜を形成していてもよい。さらに、絶縁層の場合にはピンホールが形成され、そこに磁性層が進入していてもよい。

#### 【0085】

また一方、磁性固着層 C1、C2 の磁化を固着するための反強磁性層 AF の材料としては、鉄マンガン (FeMn)、白金マンガン (PtMn)、パラジウム・マンガン (PdMn)、パラジウム白金マンガン (PdPtMn)、イリジウムマンガン (IrMn)、白金イリジウムマンガン (PtIrMn) などを用いることが望ましい。また、層間結合を使って固着させる際の非磁性層としては、銅 (Cu)、金 (Au)、銀 (Ag)、ルテニウム (Ru) あるいはこれらのいずれか一種以上を含む合金が好ましい。

#### 【0086】

本発明の磁気セルにおける磁性固着層 C1、C2 の厚さは、0.6 nm~100 nm の範囲内とすることが好ましく、磁性記録層 A の厚さは、0.2 nm~50 nm の範囲内とすることが好ましい。また、中間層 B1、B2 の厚さは、導体の場合には 0.2 nm~20 nm、絶縁体を含む場合には 0.2 nm~50 nm の範囲内とすることが望ましい。

#### 【0087】

本発明の磁気セルの平面形状としては、磁性記録層 A の平面形状が、縦横比で 1:1 から 1:5 の範囲にあるような長方形、縦長 (横長) 6 角形、楕円形、菱形、平行四辺形が好ましく、エッジドメインが形成されにくい一軸性の形状磁気異方性を生じやすい形状であることが望ましい。ただし、ドーナツ状セルの場合には、例外的に還流磁区が形成され易い方が好ましい。また、その磁性記録層 A の寸法は、長手方向の一辺が 5 nm から 1000 nm 程度の範囲内とすることが望ましい。

なお、図 1 などにおいて、磁性固着層 C1、C2 と、磁性記録層 A の膜面方向の寸法を同一として表したが、本発明はこれには限定されない。すなわち、配線の接続のため、あるいは磁化方向の制御のために、磁気セルの各層の寸法が互い

に異なるように形成してもよい。また、形状が異なっても良い。

#### 【0088】

以上に説明したように、本発明の磁気セルは、スピン偏極電流により小さい書き込み電流で磁性記録層 A に磁化を書き込むことができる。さらには、磁気抵抗効果を用いて磁性記録層 A の磁化を読み出すこともできる。しかも、その素子はサイズが小さいためにアレイ化あるいは集積化が容易である、という利点を有する。

#### 【0089】

本発明の磁気セルは、微小かつ磁化反転機能を有することから、各種用途に適用できる。次に、本発明の磁気セルを並べて記録再生装置に適応した具体例について説明する。

#### 【0090】

図 18 は、本発明の磁気セルを用いた磁気メモリを表す模式図である。すなわち、本具体例は、本発明の磁気セルを、いわゆる「パターンド (patterned) 媒体」に適用し、これにプローブでアクセスする、プローブストレージである。

#### 【0091】

記録媒体は、導電性基板 110 の上において、高抵抗の絶縁体 100 の面内に、本発明の磁気セル 10 がマトリクス状に配置された構造を有する。これら磁気セルの選択のために、媒体表面上にプローブ 200 が設けられ、プローブ 200 と媒体表面との相対的位置関係を制御するための駆動機構 210、磁気セル 10 にプローブ 200 から電流または電圧を印加するための電源 220、磁気セルの内部磁化状態を電気抵抗の変化として検出するための検出回路 230 が設けられている。

#### 【0092】

図 18 に表した具体例においては、駆動機構 210 はプローブ 200 に接続されているが、媒体とプローブとの相対位置が変化すればよいので、媒体側に設けてもよい。同図に表したように、本発明の磁気セル 10 を複数個、導電性基板 110 の上に配列させてパターンド媒体とし、導電性プローブ 200 と基板 110 との間に磁気セル 10 を介して電流を流すことによって、記録再生を行なう。



## 【0093】

磁気セル10の選択は、導電性プローブ200とバターンド媒体との相対的位置関係を変えることで行なう。導電性プローブ200は、磁気セル10に対して電氣的に接続されればよく、接触していても、非接触してもよい。非接触の場合には、磁気セル10とプローブ200との間に流れるトンネル電流あるいは電界放射による電流を用いて記録再生を行なうことができる。

## 【0094】

磁気セル10への記録は、磁気セルにアクセスしたプローブ200から磁気セル10へ流れる電流、あるいは磁気セル10からプローブ200へ流れる電流により行われる。磁気セル10のサイズ、構造、組成等により決定される磁化反転電流を $I_s$ とすると、 $I_s$ よりも大きな書き込み電流 $I_w$ をセルに流すことで記録が可能となる。その記録される磁化の方向は、電子電流を基準とした場合に、最初に通過する磁性固着層の磁化の方向と同一である。従って、電子の流れ、すなわち電流の極性を反転させることで、「0」または「1」の書き込みを適宜行なうことができる。

## 【0095】

再生は、記録と同じく磁気セル10へアクセスしたプローブ200から流れる、あるいはプローブへ流れる電流によりなされる。ただし、再生時には、磁化反転電流 $I_s$ よりも小さな再生電流 $I_r$ を流す。そして、電圧あるいは抵抗を検出することで、磁性記録層Aの記録状態を判定する。よって、本具体例の磁気メモリにおいては、 $I_w > I_r$ なる関係をもつ電流を流すことで記録再生が可能となる。

## 【0096】

図19は、本発明の磁気セルを用いた磁気メモリの第2の具体例を表す模式断面図である。

## 【0097】

すなわち、本具体例の磁気メモリは、電極層（下部配線）110の上に複数の磁気セル10が並列配置された構造を有する。それぞれの磁気セル10は、絶縁体100によって電氣的に隔絶されている。それぞれの磁気セル10には、一般

にビット線、ワード線と呼ばれる配線 120 が接続されている。ビット線とワード線を指定することにより、特定の磁気セル 10 を選択できる。

#### 【0098】

磁気セル 10 への記録は、配線 120 から磁気セル 10 へ流れる電流、あるいは磁気セル 10 から配線 120 へ流れる電流によりなされる。磁気セル 10 のサイズ、構造、組成等により決定される磁化反転電流を  $I_s$  とすると、 $I_s$  よりも大きな書き込み電流  $I_w$  をセルに流すことで記録が可能となる。その記録される磁化の方向は、電子電流を基準として、最初に通過する磁性固着層の磁化の方向と同一である。従って、この場合も、電子の流れ、すなわち電流の極性を反転させることで、「0」、「1」の書き込みを行なうことができる。

#### 【0099】

再生は、記録と同じく磁気セル 10 へアクセスした配線から流れる、あるいは配線へ流れる電流によりなされる。ただし、再生時には  $I_s$  よりも小さな再生電流  $I_r$  を流す。そして電圧あるいは抵抗（電圧印加の場合には電流を）を検出することで、記録状態を判定する。よって、本具体例の磁気メモリにおいても、 $I_w > I_r$  なる関係をもつ電流を流すことで記録再生が可能となる。

#### 【0100】

##### 【実施例】

以下、実施例を参照しつつ、本発明の実施の形態についてさらに詳細に説明する。

#### 【0101】

##### （第 1 の実施例）

図 20 (a) は、本実施例の磁気セルの要部断面構造を表す模式図であり、同図 (b) は、比較例の磁気セルの要部断面構造を表す模式図である。

#### 【0102】

すなわち、本実施例の磁気セル（サンプル I）は、電極 EL1、磁性固着層 C1、中間層 B1、磁性記録層 A、中間層 B2、磁性固着層 C2、電極 EL2 が積層された構造を有する。また、比較例の磁気セル（サンプル II）は、電極 EL1、磁性記録層 A、中間層 B、磁性固着層 C、電極 EL2 が積層された構造を有

する。各層の材料と膜厚は以下の如くである。

サンプル I: EL1 (Cu) / C1 (Co: 20 nm) / B1 (Cu: 10 nm) / A (Co: 3 nm) / B2 (Cu: 6 nm) / C2 (Co: 20 nm) / EL2 (Cu)

サンプル II: EL1 (Cu) / A (Co: 3 nm) / B (Cu: 6 nm) / C (Co: 20 nm) / EL2 (Cu)

これらの積層構造は、超高真空スパッタ装置によって下側の電極 EL2 の上に形成した。そして、さらにその上に、図示しないタンタル (Ta) 保護膜を形成してから、レジストを塗布し EB (electron beam) 露光してマスクを形成したのち、イオンミリングで加工した。セルの加工サイズは 100 nm × 50 nm である。

#### 【0103】

得られたサンプルについて、膜面に対して垂直方向に流す電流量に対する抵抗の変化から磁性記録層 A の磁化反転電流値を求めた。その結果、正負反転電流の平均値は、サンプル I で 1.4 mA、サンプル II で 3.1 mA であった。また、サンプル II では、正負電流に対する非対称性が見られていたが、サンプル I では、この非対称性が解消した。

#### 【0104】

つまり、磁化が反平行の 2 層の磁性固着層 C1、C2 を設けることにより、記録層 A の磁化反転電流が低下するとともに、書き込み電流の対称性の改善が見られた。書き込み電流の対称性の向上は、磁化方向が反平行の反強磁性配置の固着層 C1、C2 を設けることにより、磁気セルが磁氣的により安定になったためと考えられる。

#### 【0105】

##### (第 2 の実施例)

次に、本発明の第 2 の実施例として、図 14 に表した構造の磁気セルの実施例

について説明する。なお、本実施例においては、図14の上下を逆さにした積層構造の磁気セルを試作した。

#### 【0106】

まず、超高真空スパッタ装置を用いて、ウェーハ上にタンタル (Ta) と銅 (Cu) からなる下側電極EL1を形成したのち、その上にPtMn20nm (反強磁性層AF1)、CoFe5nm (磁性層FM)、Ru1nm (非磁性層AC)、CoFe2nm (磁性固着層C1)、Cu3nm (中間層B1)、CoFe2nm (磁性記録層A)、Cu3nm (中間層B2)、CoFe4nm (磁性固着層C2)、PtMn20nm (反強磁性層AF2) を形成した。さらに、この上に、銅 (Cu) とタンタル (Ta) からなる積層膜を形成した。

#### 【0107】

このウェーハを磁場中真空炉にて、270℃で10時間、磁場中アニールして、一方向異方性を付与した。この時点でウェーハの一枚を取り出し、振動試料型磁束計 (VSM) により磁化の印加磁場依存性のヒステリシスループ測定を行い、C1とC2の反平行磁化固着を確認した。この膜に対し、EBレジストを塗布してEB露光したのち、リフトオフで所定の形状のマスクを形成した。次に、イオンミリング装置によりマスクに被覆されない領域をエッチングした。ここで、エッチング量の把握は、スパッタされた粒子を作動排気による四重極分析器に導入して質量分析することで、正確に把握することができる。

#### 【0108】

エッチング後、マスクを剥離し、さらにSiO<sub>2</sub>を成膜し、表面をイオンミリングにより平滑化し、タンタル (Ta) 面を露出させる「頭だし」の工程を行なった。このタンタル面の上に、上側の電極を形成した。このようにして図5相当の素子を作成した。

#### 【0109】

以上説明したプロセスにより、磁性記録層Aの上下に配置された磁性固着層C1、C2の磁化の方向を反平行に固着することができる。

#### 【0110】

(第3の実施例)

第2実施例と同様のプロセスを用い、図15に表した構造の磁気セルを試作した。但し、本実施例においても、図15の上下を逆さにした積層構造の磁気セルを試作した。各層の材料と膜厚は、以下の如くである。

AF1 (PtMn: 20 nm) / FM1 (CoFe: 5 nm) / AC (Ru: 1 nm) / C1 (CoFe: 2 nm) / B1 (Cu: 3 nm) / A (CoFe: 2 nm) / B2 (Cu: 3 nm) / C2 (CoFe: 2 nm) / FC (Cu: 5 nm) / FM2 (CoFe: 5 nm) / AF2 (PtMn: 20 nm)

この構造においても、第2実施例に関して前述したものと同様のプロセスによって、磁性固着層C1、C2の磁化の方向を反平行に固着することができた。

#### 【0111】

(第4の実施例)

次に、本発明の第4の実施例として、2つの中間層B1、B2に非対称性を付与して磁気抵抗効果の検出が容易となるようなサンプル群(サンプルIIからサンプルV)を作製し、中間層が対称なサンプル(サンプルI)とともにその電流駆動磁化反転に伴う抵抗変化率を評価し、比較検討した。各サンプルの磁気セル中心部の構成は以下の如くである。

サンプルI: C1 (CoFe: 10 nm) / B1 (Cu: 8 nm) / A (CoFe: 3 nm) / B2 (Cu: 8 nm) / C2 (CoFe: 10 nm)

サンプルII: C1 (CoFe: 10 nm) / B1 (Cu: 8 nm) / A (CoFe: 3 nm) / B2 (Cu: 4 nm) / C2 (CoFe: 10 nm)

サンプルIII: C1 (CoFe: 10 nm) / B1 (Cu: 8 nm) / A (CoFe: 3 nm) / B2 (Cu: 2 nm) / IE (Al-Cu-O: 0.6 nm) / B2 (Cu: 2 nm) / C2 (CoFe: 10 nm)

サンプルIV: C1 (CoFe: 10 nm) / B1 (Cu: 8 nm) / A (CoFe: 3 nm) / B2 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CoFe: 3 nm) / C2 (CoFe: 10 nm)

サンプルV: C1 (CoFe: 20 nm) / B1 (Cu: 8 nm) / A (CoFe: 3 nm) / B2 (Cu: 8 nm) / C2 (Co: 2 nm)

ここでサンプルIは中間層B1、B2が対称なもの、サンプルIIは中間層B1、B2の膜厚が非対称性されたもの(図8)、サンプルIIIは片方の中間層B2に極薄の酸化物層(IE)が添加されたもの(図9)、サンプルIVは片方の中間層B2がアルミナとCoFeの同時蒸着によりアルミナ中にCoFeを析出させて磁性体の微小接点を形成したもの(図10)、サンプルVは磁性固着層C1、C2の厚さと組成に非対称性を有するもの(図7)である。

#### 【0112】

なお、サンプルIVでは、接点部の格子整合をとるためのアニールを行った。また、それぞれのサンプルの下側にはPtMn層/Ru層を設け、上側にはPtMn層を設けて、第2実施例と同様の方法で2つの固着層C1、C2の磁化を反平行に固着した。

#### 【0113】

得られたサンプルに対して、電流をスイープさせ、磁性記録層Aの磁化反転に伴う抵抗変化を求めた。その結果は、以下の如くである。

サンプル番号	抵抗変化率
サンプルI	< 0.1%
サンプルII	0.4%
サンプルIII	5.0%
サンプルIV	20%
サンプルV	0.6%

この結果から、非対称性を持たせると検出効率が高くなり、特に中間層 B 1、B 2 に非対称性を付与した場合に信号検出感度が高くなることが分かった。

#### 【0114】

##### (第5の実施例)

次に、本発明の第5の実施例として、第4実施例のサンプル I V と同様の構造をもつ磁気セルを、図 18 に表したように基板上に並べ、 $32 \times 32$  のマトリックスを形成した。このマトリックスをさらに  $32 \times 32$  並べ、合計で 1M (メガ) ビットの記録再生媒体を形成した。そして、この記録再生媒体に対して、 $32$  個  $\times$   $32$  個からなるプローブで記録再生を行う磁気メモリを製作した。すなわち、本実施例の磁気メモリにおいては、マトリックス 1 セットに対してプローブ 1 個を対応させた。

#### 【0115】

プロービングは、図 21 に表した如くである。それぞれのプローブ 200 に対するセルの選択は、媒体に設けられた X Y 駆動機構により行なった。ただし、位置関係が相対的に変化するならばプローブ 200 に設けられた駆動機構 210 でセル選択を行なってもよい。また、プローブ 200 がマルチ化されているため、各プローブはいわゆるワード線 WL とビット線 BL に繋ぎ、ワード線 WL とビット線 BL を指定することで、プローブ 200 の選択を可能とした。

#### 【0116】

磁気セル 10 への記録再生は、磁気セルにアクセスしたプローブ 200 から注入される電流により行なった。ここでは プラス 1.2 mA とマイナス 1.2 mA の電流を流すことで、それぞれ「0」、「1」信号を書き込み、再生は 0.5 mA 以下の電流を流した場合のセル電圧を読み込み、その大小関係を「0」、「1」にアサインした。また、比較のため、プラス 0.5 mA とマイナス 0.5 mA の書き込み電流での書き込みを行い、再生電流 0.4 mA 以下で読み込みを行なった。その結果、書き込み電流をプラス 1.2 mA とマイナス 1.2 mA とした場合には書き込めたが、プラス 0.5 mA とマイナス 0.5 mA では書き込めないことを確認した。

#### 【0117】

## (第6の実施例)

次に本発明の第6の実施例として、第4の実施例のサンプル I I I と同様の構造をもつ磁気セルを用いて磁気メモリを作製した実施例について説明する。

## 【0118】

まず、ウェーハ上に、予め下側ビット線とトランジスタを形成し、この上に、第2実施例に関して前述したプロセスと同等の方法を用いて磁気セルアレイを形成した。さらに、その上にワード線を形成し、磁気セルの電極がビット線とワード線に接続される図22に表した構造の磁気メモリを形成した。

## 【0119】

磁気セル10の選択は、磁気セルに繋がったワード線WLとビット線BLを指定することで可能となる。すなわち、ビット線BLを指定することでトランジスタTRをオン(ON)にし、ワード線WLと電極に挟まれた磁気セル10へ電流を流す。このとき、磁気セルのサイズ、構造、組成等により決定される磁化反転電流を $I_s$ とすると、 $I_s$ よりも大きな書き込み電流 $I_w$ をセルに流すことで記録が可能となる。ここで作製した磁気セルは、 $I_s$ の平均値が1.8mAであったので、書き込み電流にはこれを越える電流をもつ正負の極性をもつ電流で書き込みが可能となる。また読み込み電流は、1.8mAを超えてはならない。

## 【0120】

なお第5実施例及び第6実施例では、プローブあるいはセル選択にトランジスタTRを用いたが、他のスイッチング素子を用いてもよい。できれば、オン時の抵抗が低抵抗のものが好ましい。また、ダイオードを用いてもよい。

## 【0121】

## (第7の実施例)

次に、本発明の第7の実施例として、第1実施例と同様の作製方法により、第1実施例におけるサンプルIの磁性記録層Aの構造を変形させた次のサンプルを作製した。

EL1 (Cu) / C1 (Co: 20 nm) / B1 (Cu: 10 nm) / A (Co: 0.6 nm) / A (Ni: 1.8 nm) / A (Co: 0.6 nm) / B2



(Cu : 6 nm) / C2 (Co : 20 nm) / EL2 (Cu)

すなわち、磁性記録層Aとして、Co (0.6 nm) / Ni (1.8 nm) / Co (0.6 nm) という積層構造を採用した。このサンプルの磁化反転特性を評価したところ、反転電流は1.1 mAであり、第1実施例のサンプルIよりもさらに反転電流が低減した。これは磁性記録層Aの磁気的エネルギーが下がったためであると考えられる。

#### 【0122】

以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、磁気セルを構成する各要素の具体的な寸法関係や材料、その他、電極、パッシベーション、絶縁構造などの形状や材質に関しては、当業者が公知の範囲から適宜選択することにより本発明を同様に実施し、同様の効果を得ることができる限り、本発明の範囲に包含される。

#### 【0123】

また、磁気セルにおける反強磁性層、磁性固着層、中間層、磁性記録層、絶縁層などの構成要素は、それぞれ単層として形成してもよく、あるいは2以上の層を積層した構造としてもよい。

#### 【0124】

その他、本発明の実施の形態として上述した磁気セルや磁気メモリを基にして、当業者が適宜設計変更して実施しうるすべての磁気セル、磁気メモリも、本発明の要旨を包含する限り、本発明の範囲に属する。

#### 【0125】

##### 【発明の効果】

本発明によれば、微小サイズの磁性体に局所的に低消費電力で磁化を書き込むことができる磁気セルを提供でき、さらには、磁気抵抗効果を用いてその書き込み磁化を読み出すことが可能な磁気セルを提供できる。これらの磁気セルは極めて微小であるために、磁気素子の高密度化、高機能化、さらには磁気素子を含むデバイスの全体サイズ縮小化へ効果大であり産業上のメリットは多大である。

**【図面の簡単な説明】****【図 1】**

本発明の第 1 の実施の形態にかかる磁気セルの基本的な断面構造を例示する模式図である。

**【図 2】**

磁化が膜面に対して垂直な方向に制御された磁気セルの断面構造を表す模式図である。

**【図 3】**

図 1 に表した磁気セルにおける「書き込み」のメカニズムを説明するための模式断面図である。

**【図 4】**

図 2 に表した磁気セルにおける「書き込み」のメカニズムを説明するための模式断面図である。

**【図 5】**

本発明の実施形態の磁気セルの読み出し方法を説明するための概念図である。

**【図 6】**

磁化の相対的な向きによる磁気抵抗の変化を説明するための概念図である。

**【図 7】**

非対称構造の第 1 の具体例を表す模式断面図である。

**【図 8】**

非対称構造の第 2 の具体例を表す模式断面図である。

**【図 9】**

非対称構造の第 3 の具体例を表す模式断面図である。

**【図 1 0】**

非対称構造の第 4 の具体例を表す模式断面図である。

**【図 1 1】**

固着層 C 1、C 2 の静磁結合を表す模式断面図である。

**【図 1 2】**

反強磁性層を設けた磁気セルを表す模式断面図である。

## 【図 13】

固着層 C1、C2 の磁化をそれぞれ反強磁性層により固着した磁気セルを表す模式断面図である。

## 【図 14】

固着層 C1、C2 の磁化をそれぞれ反強磁性層により固着した磁気セルを表す模式図である。

## 【図 15】

固着層 C1、C2 の磁化を反強磁性層により固着した磁気セルのもうひとつの具体例を表す模式断面図である。

## 【図 16】

非磁性層を介した層間交換相互作用の膜厚依存性を表すグラフ図である。

## 【図 17】

2 層の磁性記録層を設けた磁気セルを表す模式断面図である。

## 【図 18】

本発明の磁気セルを用いた磁気メモリを表す模式図である。

## 【図 19】

本発明の磁気セルを用いた磁気メモリの第 2 の具体例を表す模式断面図である。

## 【図 20】

(a) は、本実施例の磁気セルの要部断面構造を表す模式図であり、同図 (b) は、比較例の磁気セルの要部断面構造を表す模式図である。

## 【図 21】

第 5 実施例におけるプロービングを表す模式図である。

## 【図 22】

本発明の第 6 実施例における磁気メモリを表す概念図である。

## 【符号の説明】

10 磁気セル

100 絶縁体

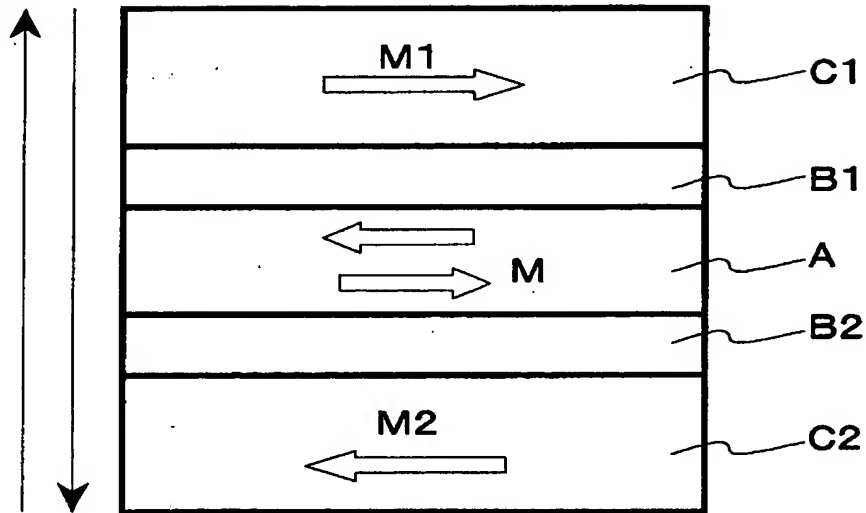
110 基板 (下側電極)

1 2 0 配線  
2 0 0 プローブ  
2 1 0 駆動機構  
2 2 0 電源  
2 3 0 検出回路  
A、A 1、A 2 磁性記録層  
A C 非磁性層  
A F、A F 1、A F 2 反強磁性層  
B、B 1 ~ B 4 中間層  
B L ビット線  
C、C 1 ~ C 3 磁性固着層  
E L 1、E L 2 電極  
F C 非磁性層  
F M、F M 1 磁性層  
I 電流  
I E 中間物質層  
I L 絶縁層  
I r 再生電流  
I s 磁化反転電流  
I w 電流  
M、M 1、M 2 磁化  
M Y 磁気ヨーク  
P H ピンホール  
T R トランジスタ  
W L ワード線

【書類名】 図面

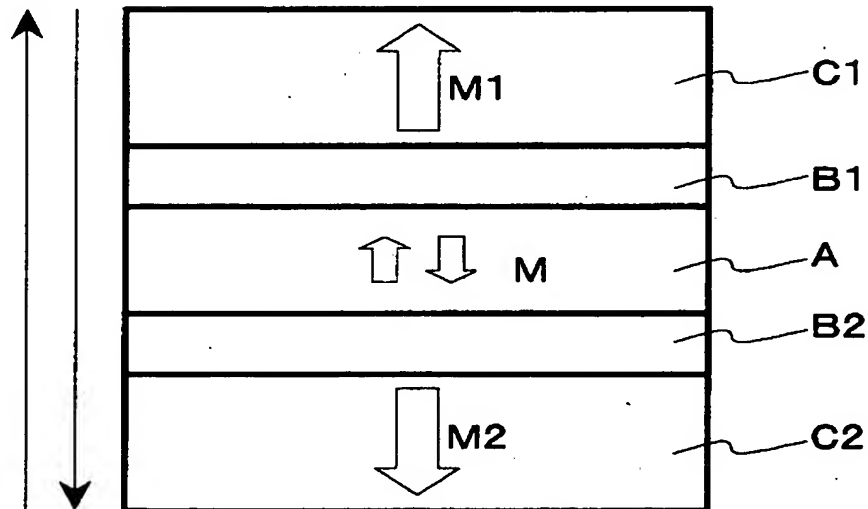
【図 1】

電子電流I

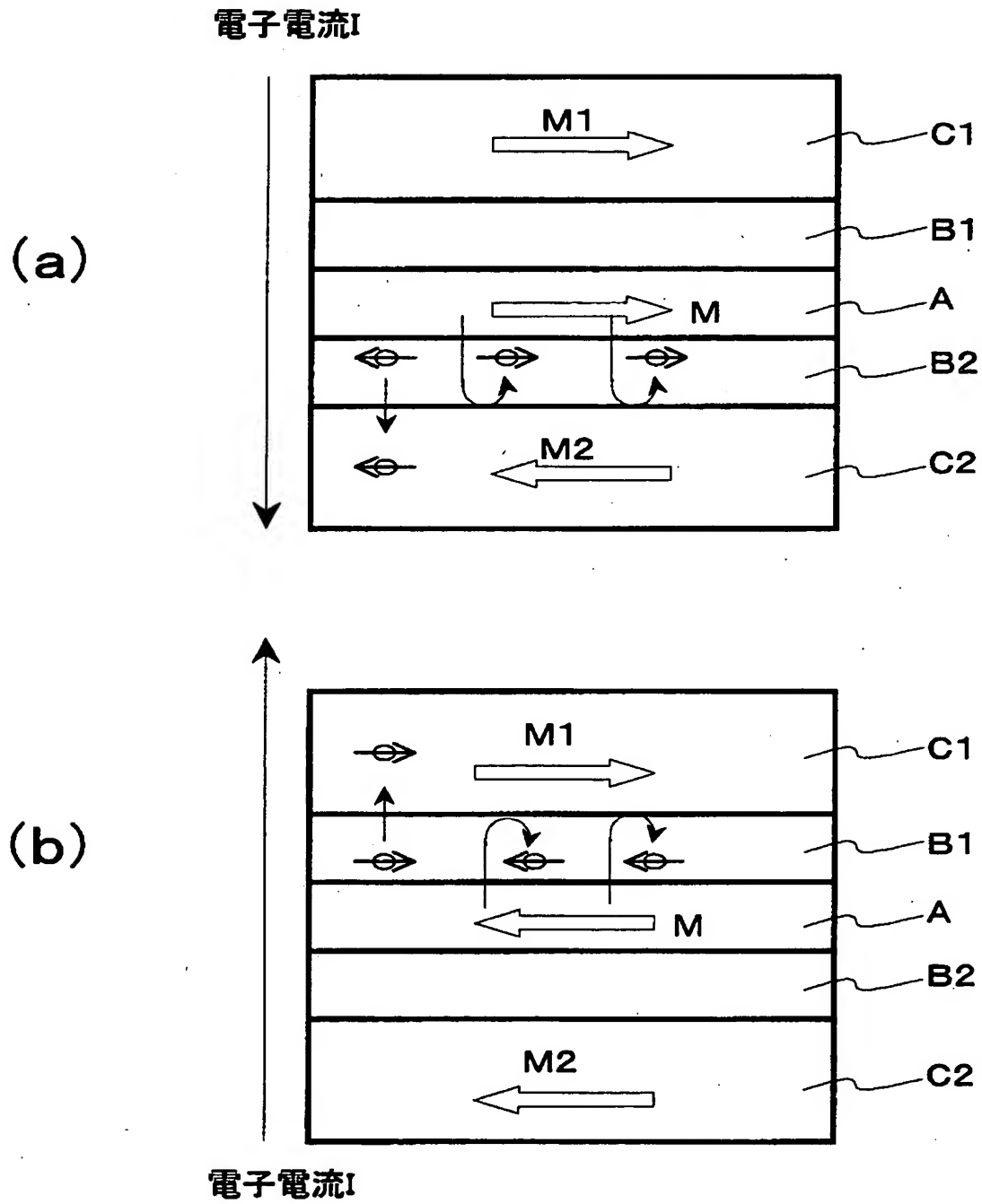


【図 2】

電子電流I



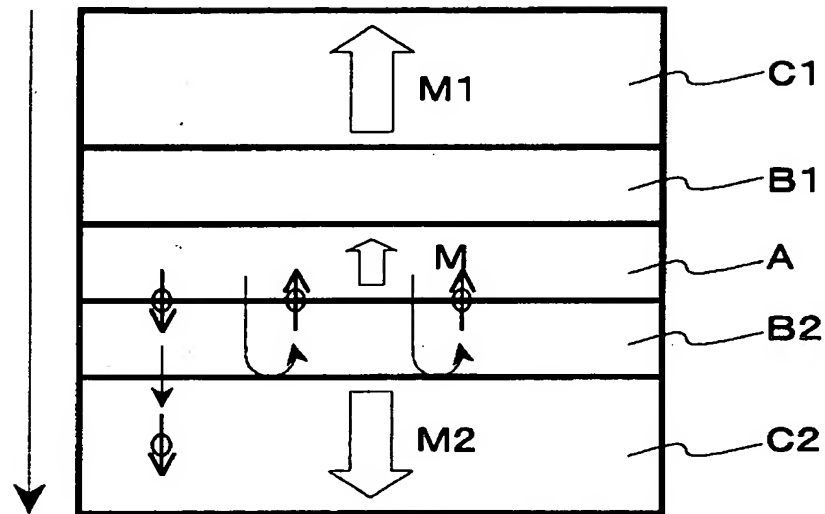
【図 3】



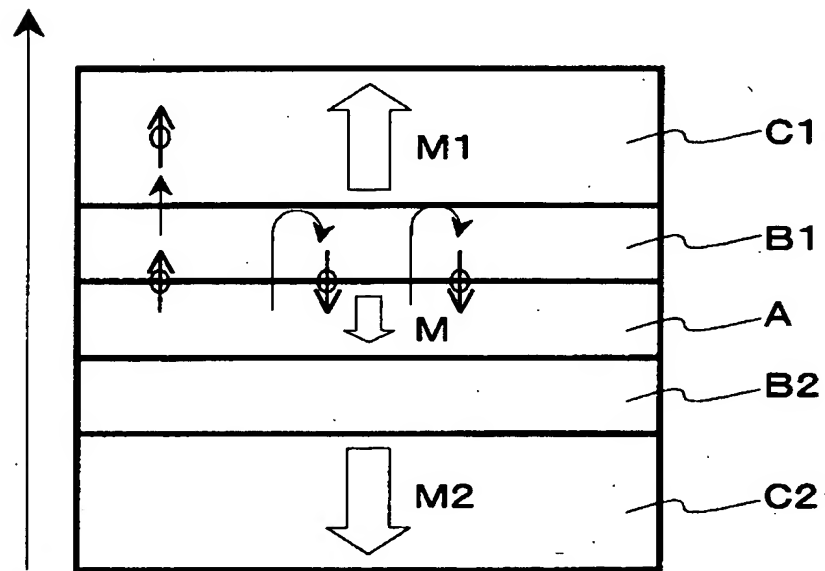
【図 4】

電子電流I

(a)

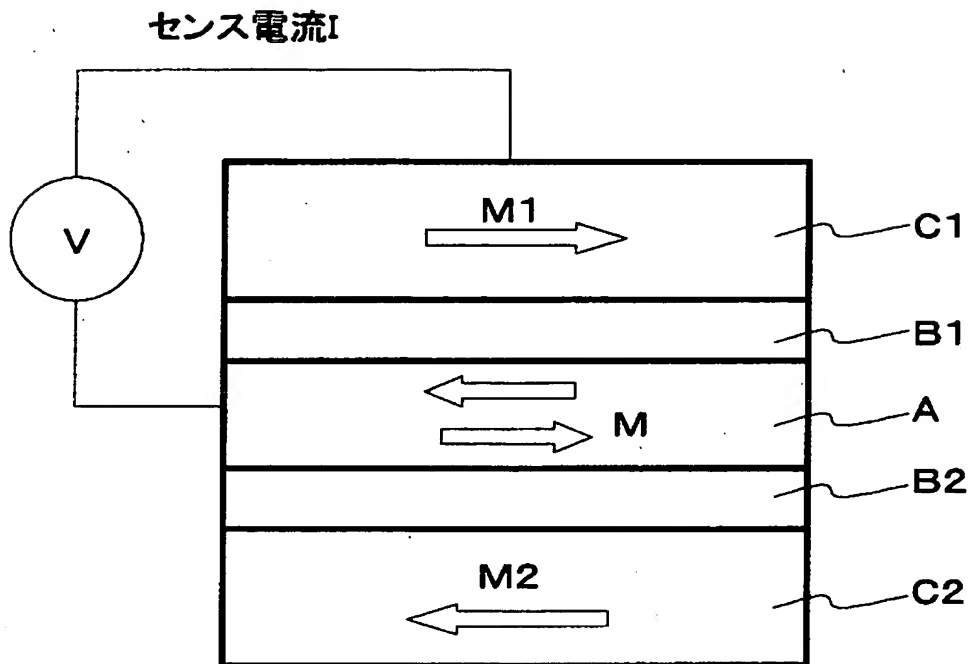


(b)



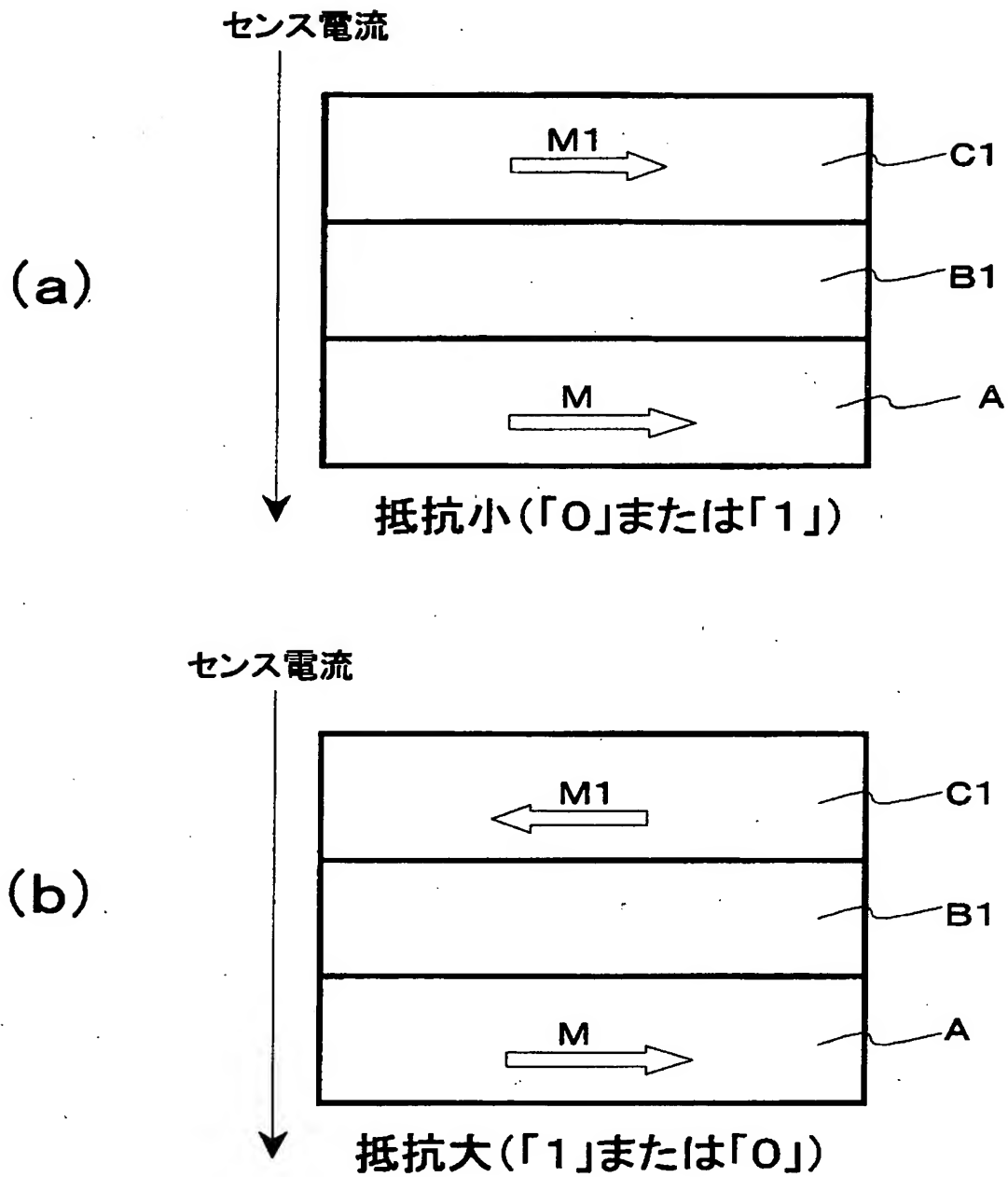
電子電流I

【図 5】

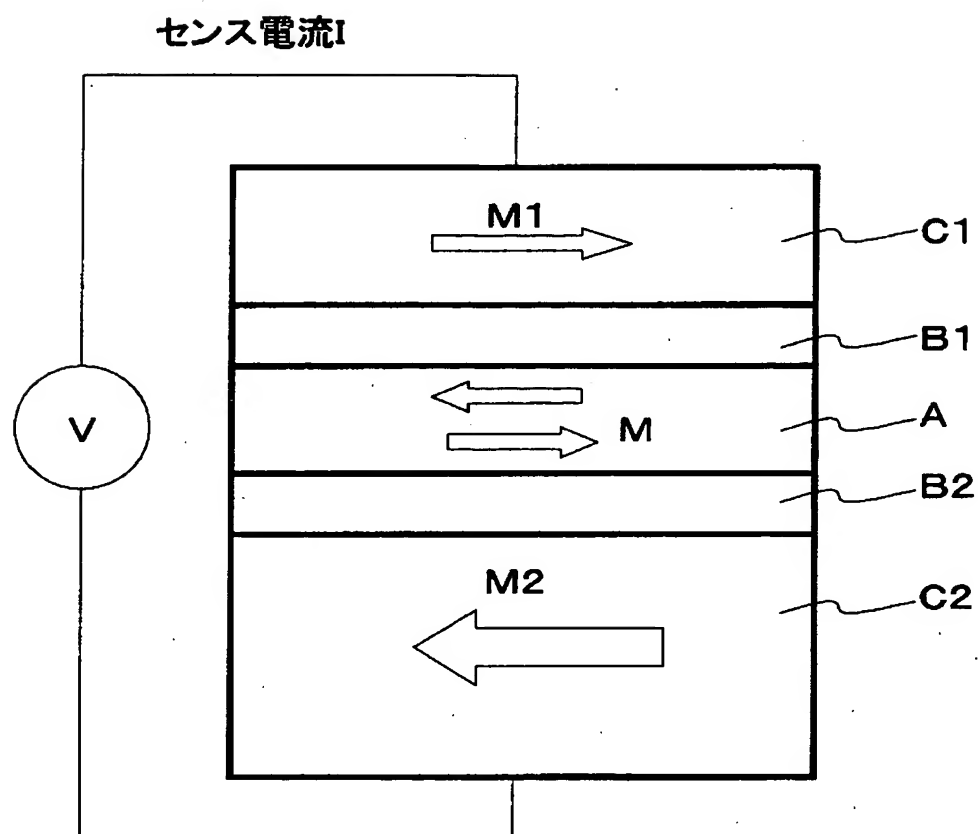




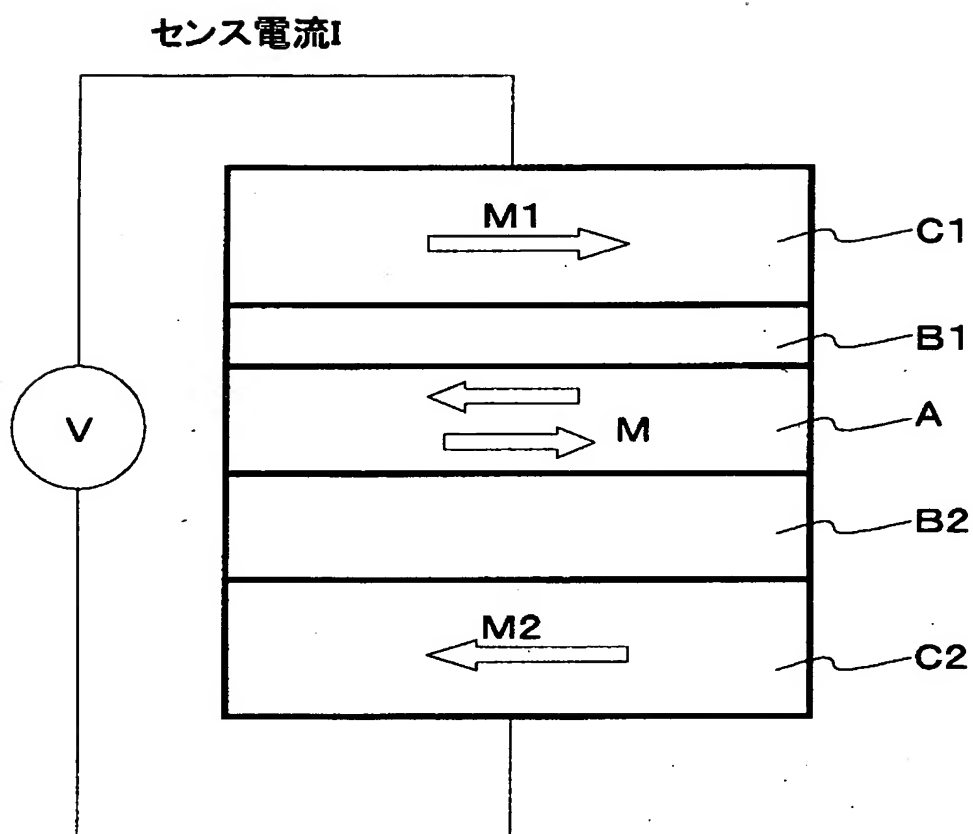
【図 6】



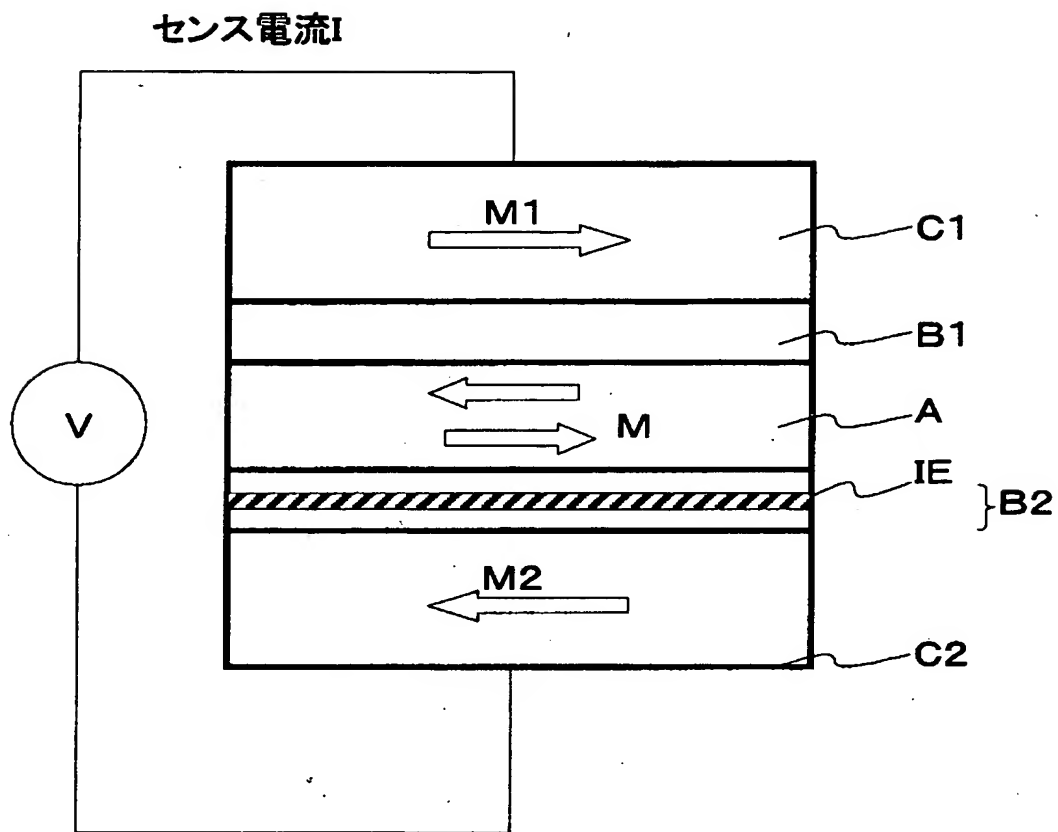
【図 7】



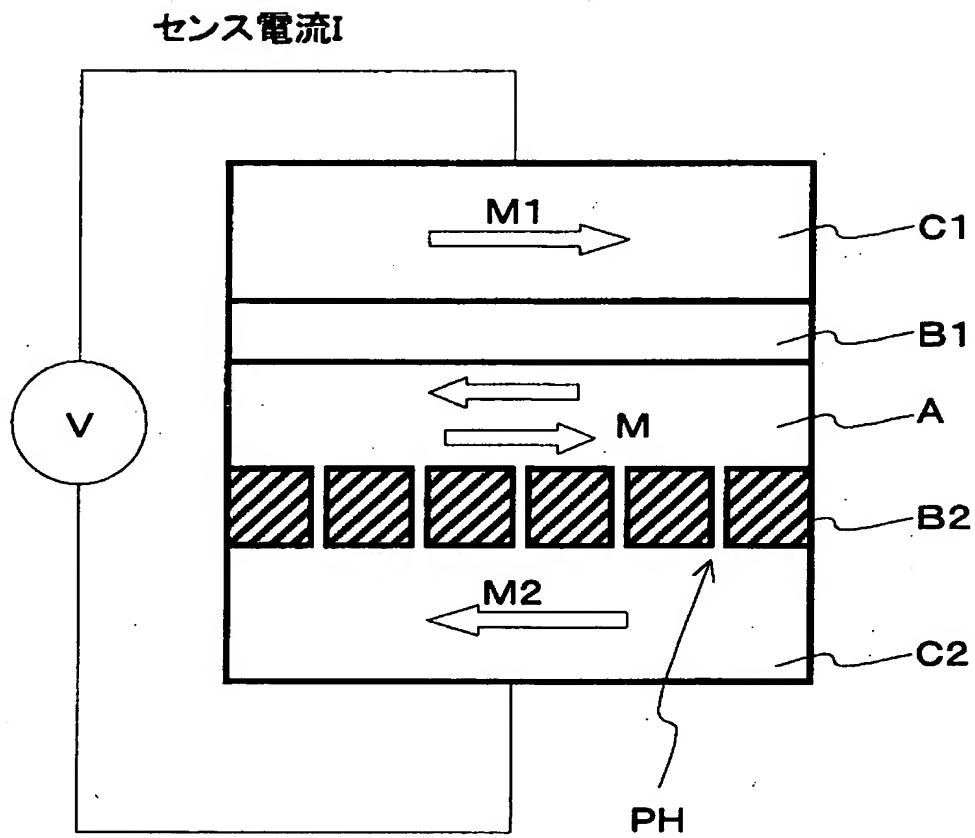
【図 8】



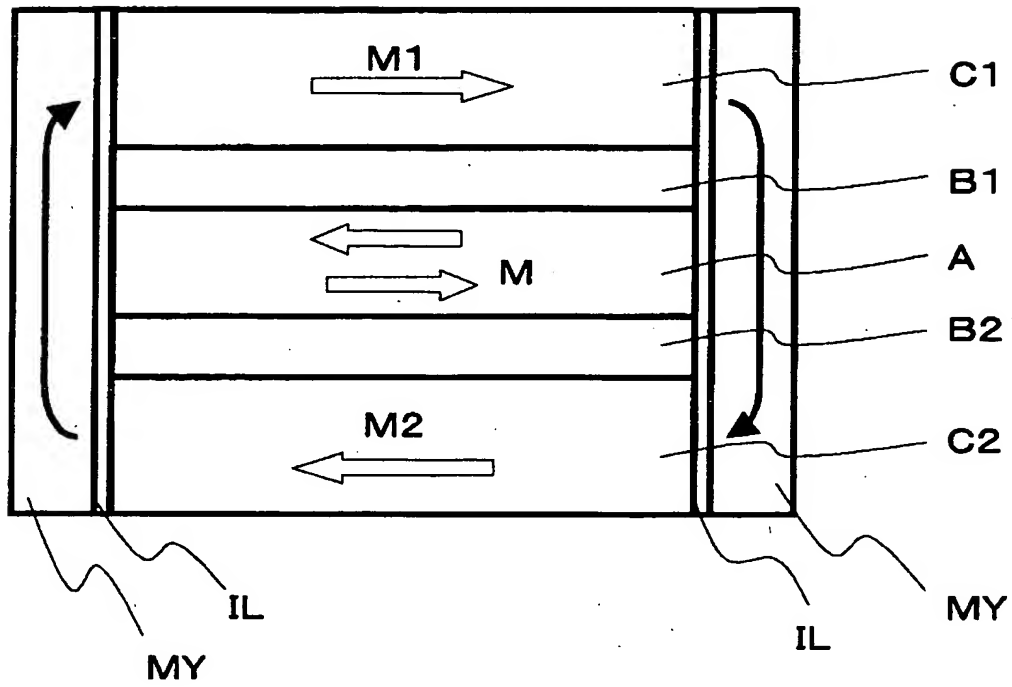
【図 9】



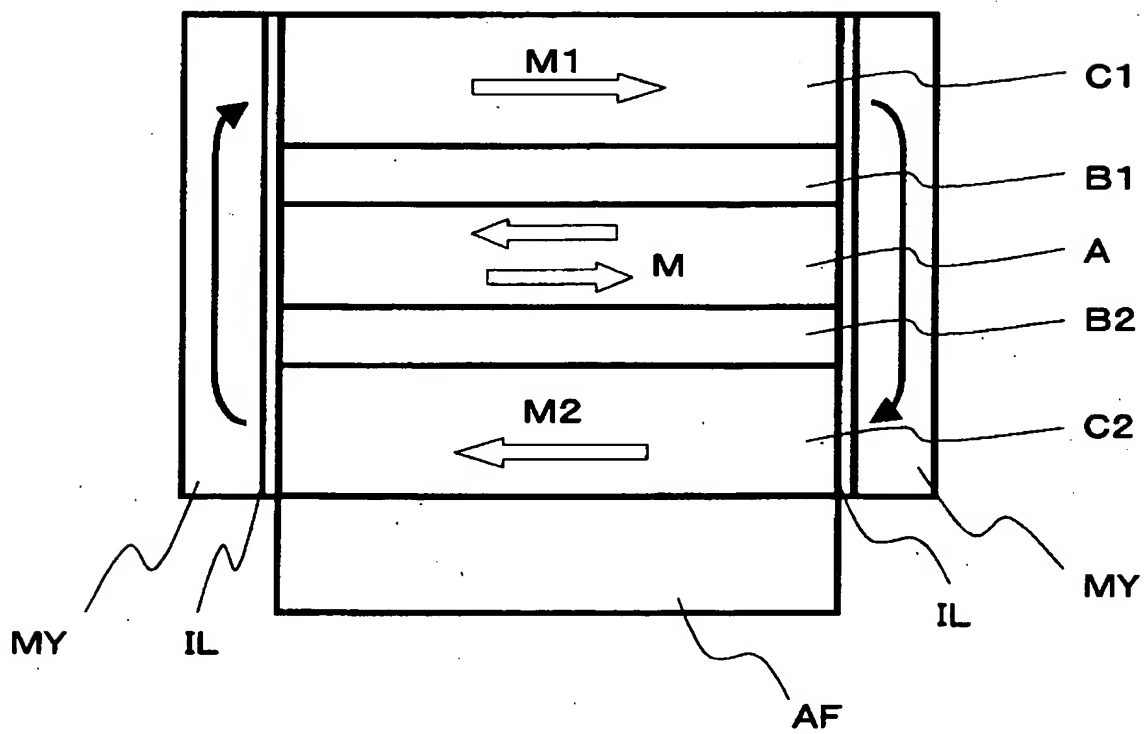
【図 10】



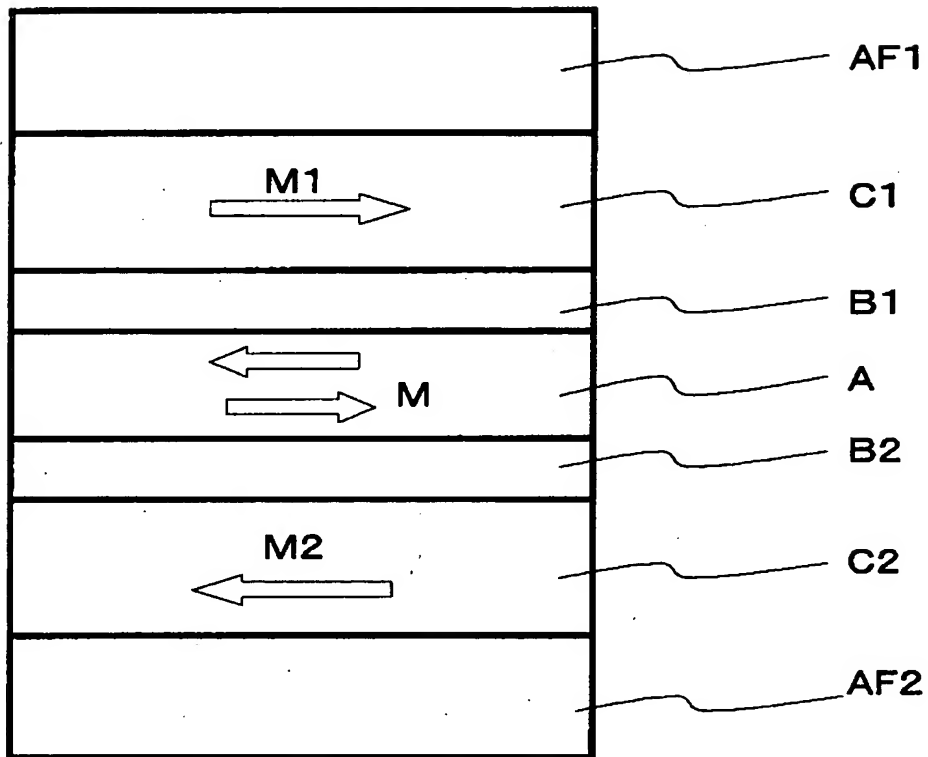
【図 11】



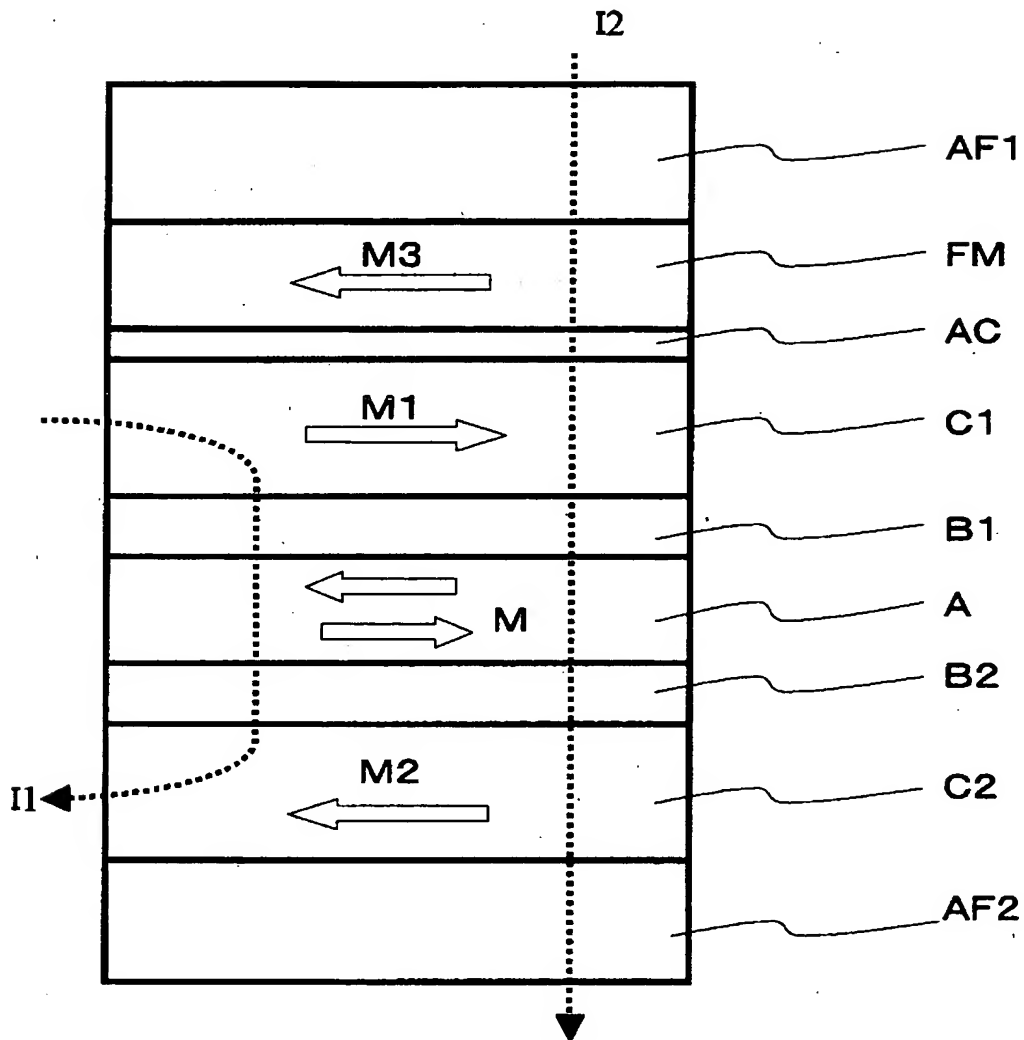
【図 12】



【図 13】

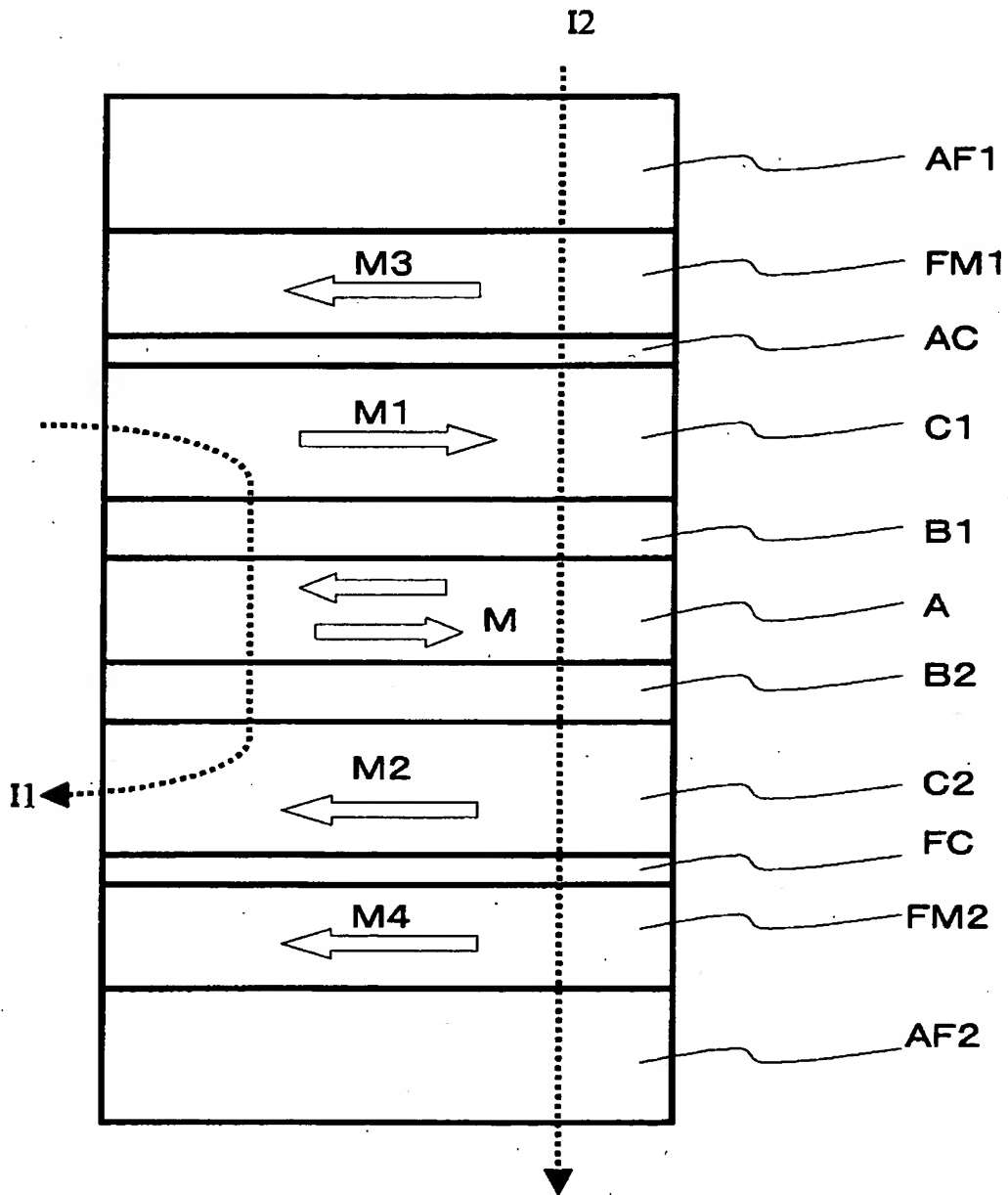


【図 14】



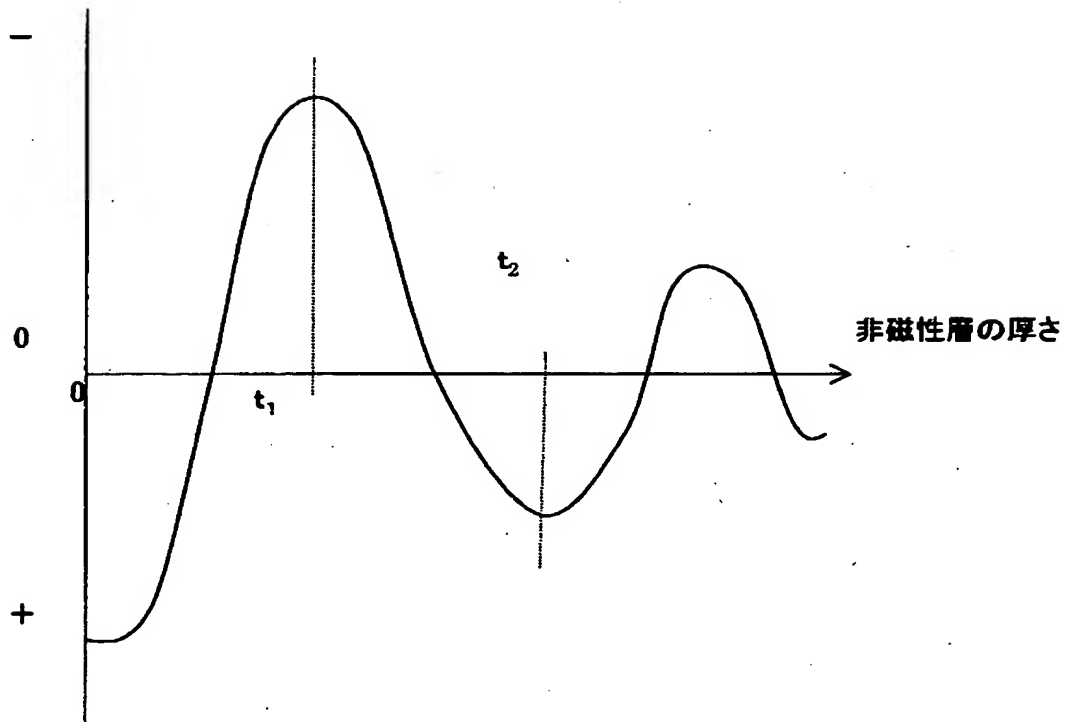


【図 15】



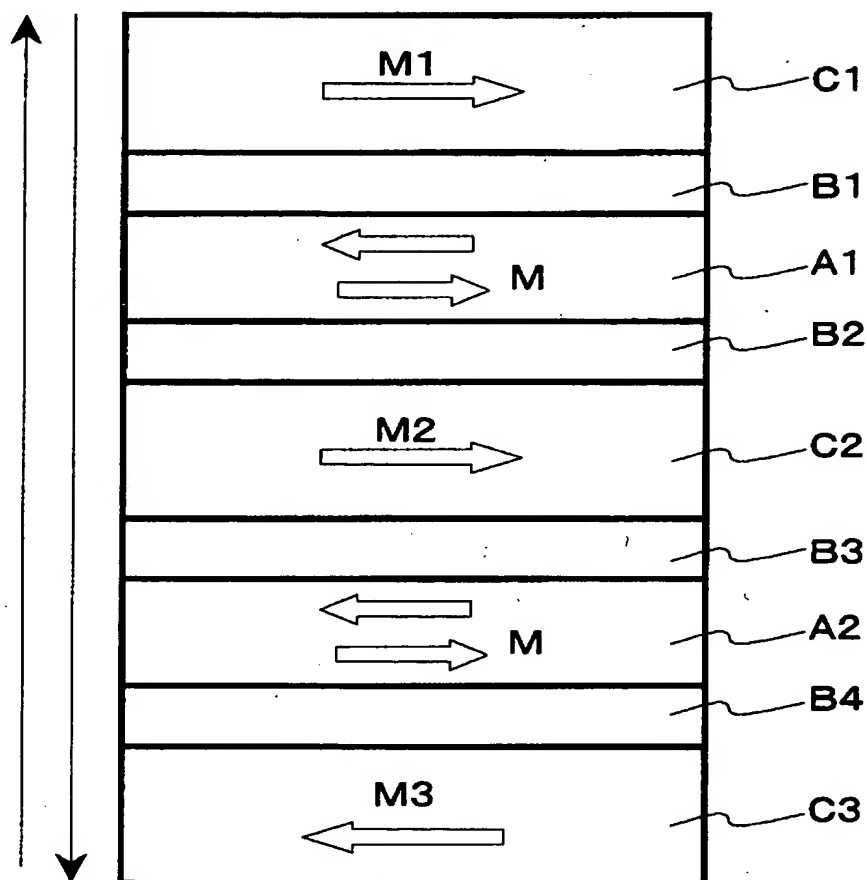
【図 16】

Coupling J

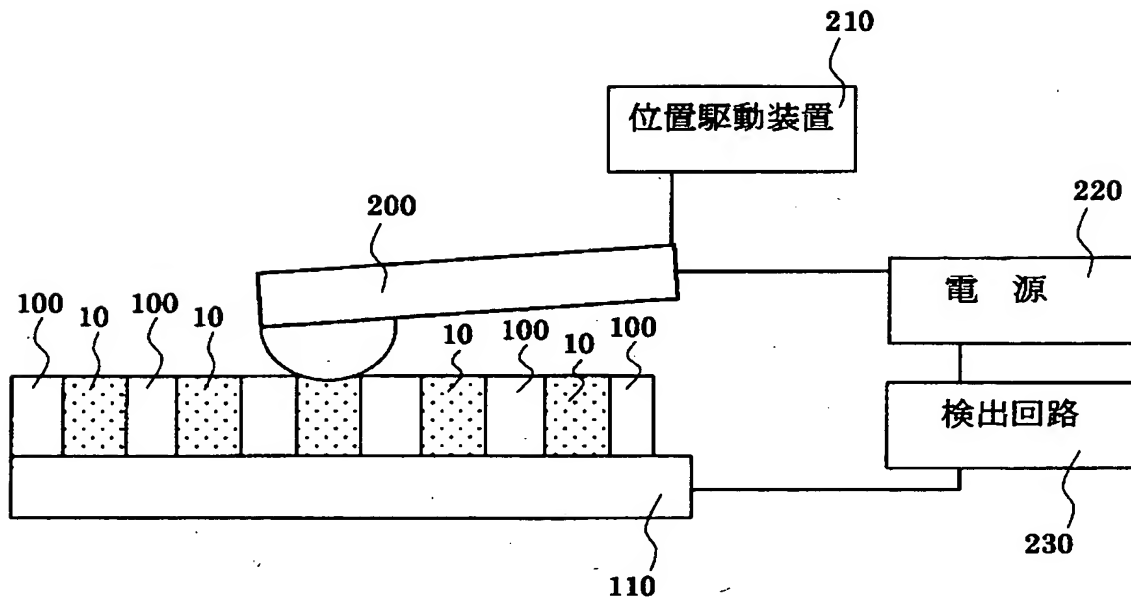


【図 17】

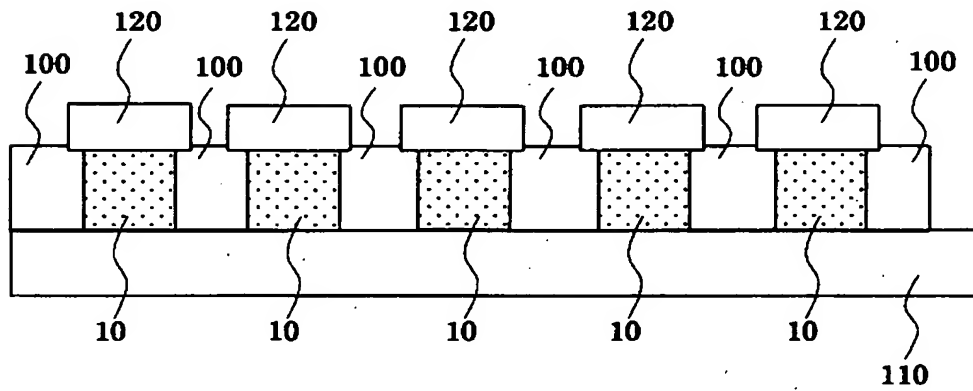
電子電流I



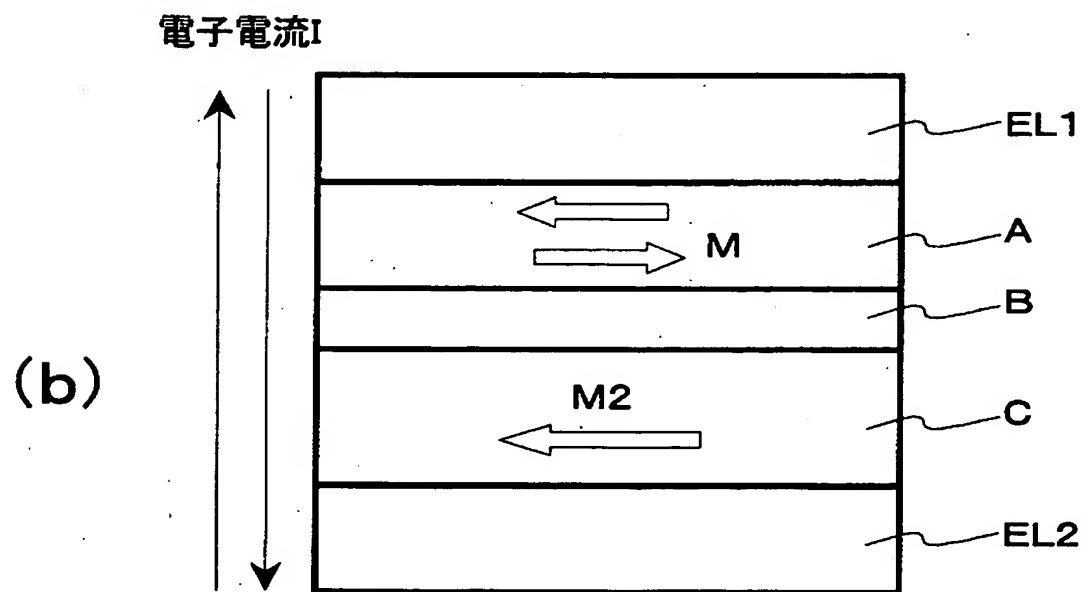
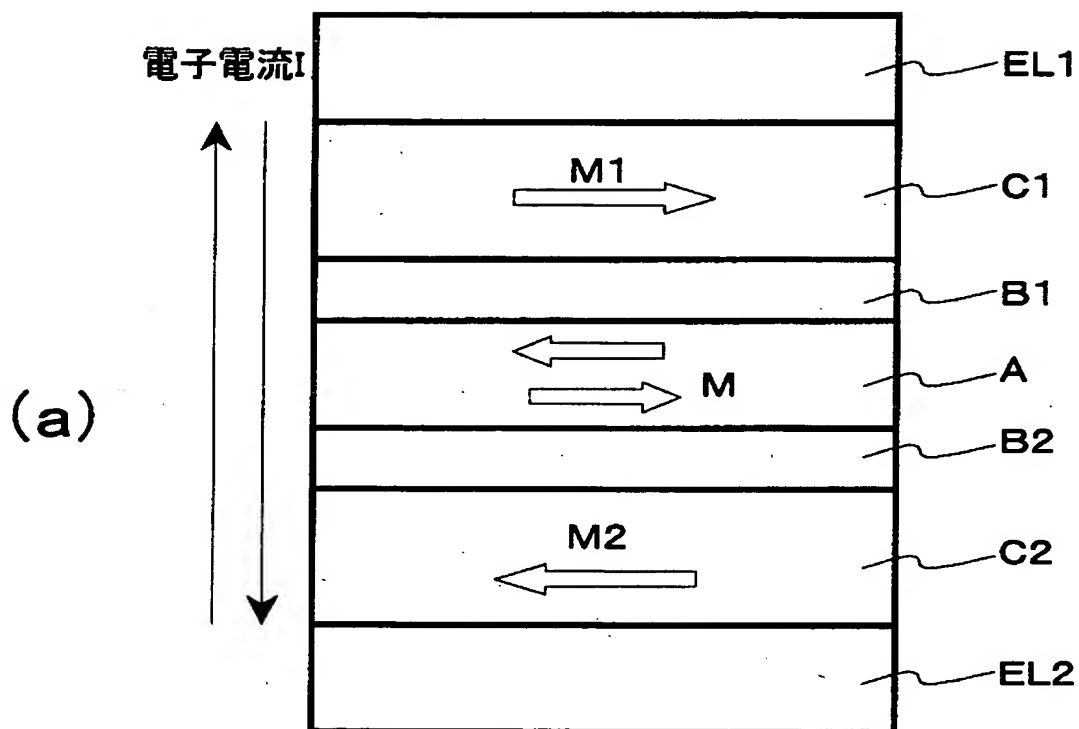
【図 18】



【図 19】

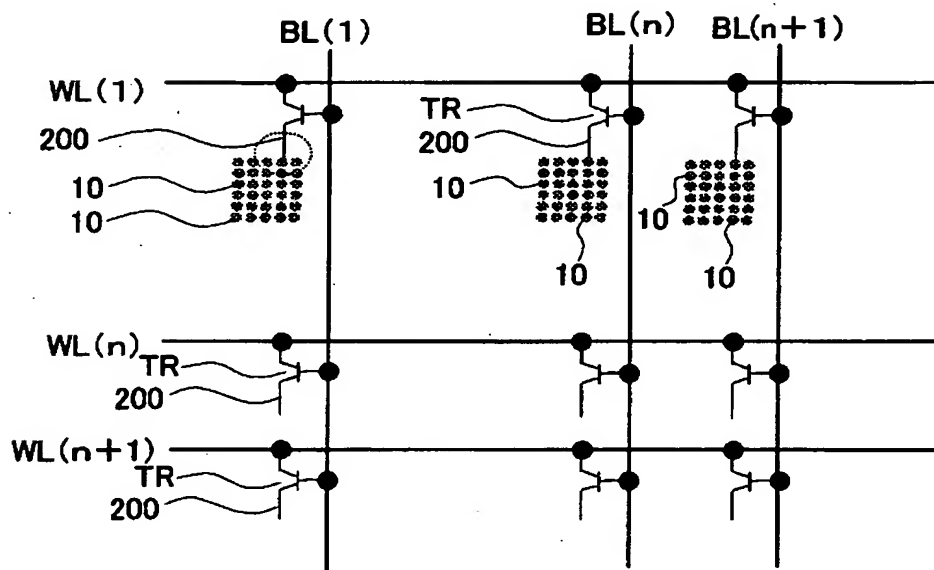


【図 20】

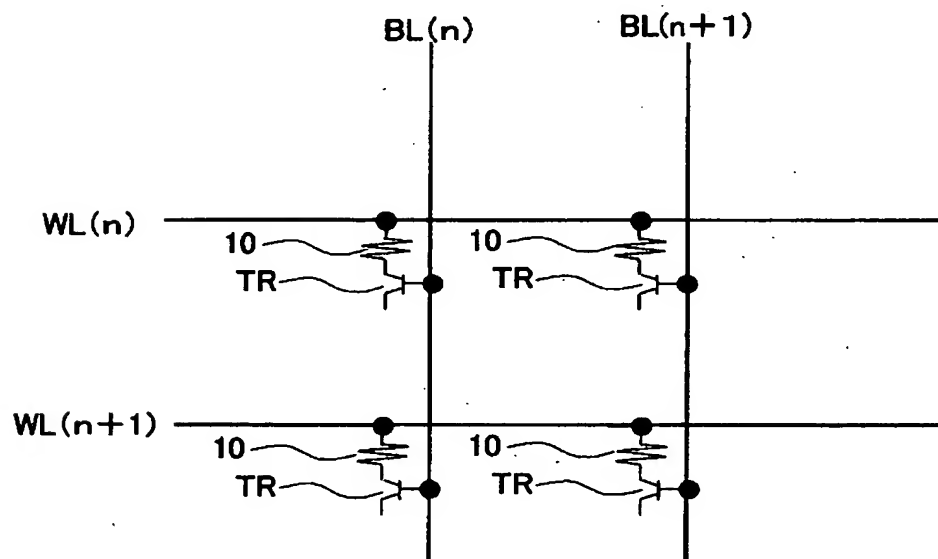


【図 2 1】

マルチプローブのアレイ構造



【図 2 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電流直接駆動による磁化反転の際の反転電流を低減させることができる磁気セル及びそれを用いた磁気メモリを提供することを目的とする。

【解決手段】 磁化 (M1) 方向が第1の方向に実質的に固定された第1の強磁性層 (C1) と、磁気 (M2) 方向が前記第1の方向とは反対の第2の方向に実質的に固定された第2の強磁性層 (C2) と、前記第1及び第2の強磁性層の間に設けられ、磁化 (M) 方向が可変の第3の強磁性層 (A) と、前記第1及び第3の強磁性層の間に設けられた第1の中間層 (B1) と、前記第2及び第3の強磁性層の間に設けられた第2の中間層 (B2) と、を備えたことを特徴とする磁気セルを提供する。

【選択図】 図1

特願 2002-342447

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000003078]

1. 変更年月日

2001年 7月 2日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都港区芝浦一丁目1番1号

氏 名

株式会社東芝